

**APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE OPCIONES REALES PARA LA
VALORACIÓN DE PATENTES CON POTENCIAL COMERCIAL, CASO DE ESTUDIO
ORIGINADO A PARTIR DE UN PROYECTO DE I+D+i DEL VALLE DEL CAUCA**

GUSTAVO ADOLFO SANDOVAL REINA



**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI
2012**

**APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE OPCIONES REALES PARA LA
VALORACIÓN DE PATENTES CON POTENCIAL COMERCIAL, CASO DE ESTUDIO
ORIGINADO A PARTIR DE UN PROYECTO DE I+D+i DEL VALLE DEL CAUCA**

GUSTAVO ADOLFO SANDOVAL REINA

Trabajo de Grado para Optar el Título de:

Ingeniero Industrial

DIRECTOR: M.Sc. VÍCTOR JAVIER JIMÉNEZ CARABALÍ

CODIRECTORA: M.Sc. ANABELLA PABÓN

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

SANTIAGO DE CALI

2012

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Santiago de Cali, Agosto de 2012

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia agradezco a mis padres por su constante apoyo, enseñanzas y dedicación, a mis hermanos y demás familia por sus palabras y mejores deseos, a Diana Benavides por su apoyo incondicional y cariño permanente.

Agradezco de igual manera a los profesores del programa de Ingeniería industrial de la Universidad del Valle por sus enseñanzas a lo largo de todos estos años, al profesor Víctor Jiménez y a la profesora Anabella Pabón por su disposición y acompañamiento a lo largo de este trabajo. Así mismo agradezco a todos mis compañeros de la universidad por aquellos momentos compartidos, su interés y apoyo en esta etapa final.

Agradecimientos especiales al profesor Gustavo Bolaños de la Escuela de Ingeniería Química por la disposición y colaboración en la consecución de información de la patente valorada, igualmente al profesor Daniel Ruiz de la Oficina de Trasferencia de Resultados de Investigación de la Universidad del Valle por su disposición y colaboración para obtener información de vital importancia para llevar a cabo este proyecto.

Gustavo Adolfo Sandoval Reina

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	10
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
2. OBJETIVOS	14
2.1. OBJETIVO GENERAL	14
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3. PROPIEDAD INTELECTUAL	15
3.2. MARCAS	15
3.3. DISEÑOS INDUSTRIALES Y CIRCUITOS INTEGRADOS	16
3.4. INDICACIONES GEOGRÁFICAS O DENOMINACIÓN DE ORIGEN	16
3.5. PATENTES.....	17
3.5.1. Estructura de la documentación de una patente	18
3.5.4. Tipos de Patentes.....	20
4. VALORACIÓN DE PATENTES	22
4.1. NECESIDAD DE VALORAR PATENTES.....	22
4.2. DEFINICIÓN DEL VALOR DE UNA PATENTE.....	23
4.3. ENFOQUES PARA VALORAR PATENTES	24
4.3.1. Enfoque de los ingresos.....	25
4.3.2. Enfoque del Mercado	30
4.3.3. Enfoque de los Costos	31
4.3.4. Otros enfoques y Metodologías Propuestas para Valorar Patentes.	34
5. VALORACIÓN DE PATENTES MEDIANTE OPCIONES REALES	36
5.1. TEORÍA DE OPCIONES	36
5.2. PATENTES Y PROYECTOS DE I+D+i COMO OPCIONES REALES	37
5.3. BENEFICIOS DE EMPLEAR EL ENFOQUE DE OPCIONES REALES.....	38
5.4. DIFICULTADES AL EMPLEAR EL ENFOQUE DE OPCIONES REALES	39
5.5. CARACTERÍSTICAS DE LOS PROYECTOS DE INVERSIÓN QUE INVOLUCRAN OPCIONES REALES	40

5.5.1.	Irreversibilidad, incertidumbre y grado de libertad gerencial en patentes y proyectos de I+D+i	41
5.5.2.	Tipos de Opciones Reales relacionadas con patentes y proyectos de I+D+i.....	43
5.5.3.	Costos y gastos a tener en cuenta en la valoración de patentes	49
5.5.4.	Variables a tener en cuenta en la Teoría de Opciones Reales	51
5.6.	MÉTODOS DE VALORACIÓN CON OPCIONES	54
5.6.1.	Modelo Binomial.....	54
5.6.2.	Black-Scholes.....	57
5.6.3.	Simulación Montecarlo	59
5.7.	PASOS DE APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA LA VALORACIÓN DE PATENTES MEDIANTE OPCIONES REALES	61
6.	CASO DE ESTUDIO: PATENTE DEL PROCESO PARA LA DESTRUCCIÓN DE RESIDUOS TÓXICOS MEDIANTE OXIDACIÓN EN PRESENCIA DE AGUA Y OXÍGENO. APLICADO AL CASO DE BIFENILOS POLICLORADOS (PCBs).....	65
6.1.	QUE SON LOS BIFENILOS POLICLORADOS (PCBS).....	65
6.2.	USOS DE LOS PCBS	65
6.3.	PROBLEMAS AMBIENTALES Y DE SALUD OCASIONADOS POR PCBS	66
6.4.	ACCIONES DE RESPUESTA ANTE EL PROBLEMA DE LA CONTAMINACIÓN OCASIONADA POR LOS PCBS	67
6.4.1.	Acciones para el manejo de PCBs en Colombia	67
6.5.	PCBS EN TRANSFORMADORES Y CONDENSADORES ELÉCTRICOS.....	68
6.5.1.	Descripción de los transformadores	68
6.5.2.	PCBs en transformadores de aceite mineral	69
6.6.	TECNOLOGÍAS UTILIZADAS EN LA ACTUALIDAD PARA EL TRATAMIENTO Y ELIMINACIÓN DE PCBS	69
6.7.	PROCESO PARA EL TRATAMIENTO DE BIFENILOS POLICLORADOS (PCBS) MEDIANTE OXIDACIÓN EN AGUA SUPERCRÍTICA	70
6.7.1.	Información de la patente	70
6.7.2.	Descripción del proceso para el tratamiento de Bifenilos policlorados (PCBs) mediante oxidación en agua supercrítica.....	71
6.7.3.	Desarrollo y explotación de la patente	72
6.7.4.	Mercado del tratamiento de aceites contaminado con PCBs en Colombia	73
6.7.5.	Mercado del tratamiento de aceites contaminado con PCBs a nivel mundial.....	74
6.8.	CASO DE ESTUDIO: VALORACIÓN DE LA PATENTE	77

6.8.1.	Perspectiva de Valoración, “Quién”	77
6.9.	PARÁMETROS DE ENTRADA DEL CASO DE ESTUDIO	77
6.10.	APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA.....	84
6.10.1.	Análisis de VPN para el caso base sin flexibilidad	85
6.10.2.	Simulación Monte Carlo	87
6.10.3.	Identificación de las Opciones Reales	97
6.10.4.	Modelación y análisis de las Opciones Reales	99
6.10.5.	Valor de la patente para la universidad	105
6.10.6.	Análisis de Resultados	106
7.	CONCLUSIONES	114
	BIBLIOGRAFÍA.....	117
	ANEXOS.....	122

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Concepto del Valor de Patente.....	24
Figura 2. Opciones de Compra y de Venta	37
Figura 3. Evolución del valor del activo subyacente.....	55
Figura 4. Evolución del valor de la opción incluyendo la opción de compra	55
Figura 5. Fases del proyecto de inversión	85
Figura 6. Árbol de E (VPN)	86
Figura 7. Análisis tornado del proyecto de inversión.....	89
Figura 8. Resultados ajuste de distribución inflación Colombia.....	92
Figura 9. Resultados ajuste de distribución inflación Brasil	92
Figura 10. Resultados ajuste de distribución inflación México	93
Figura 11. Resultados ajuste de distribución Estados Unidos.....	93
Figura 12. Resultados Simulación VPN del proyecto.....	95
Figura 13. Resultados simulación Rendimientos del proyecto.	95
Figura 14. Probabilidad de que el VPN sea mayor que cero.....	96
Figura 15. Probabilidad de que el VPN sea menor que cero.....	96
Figura 16. Representación del proyecto como una opción real compuesta.	99
Figura 17. Cálculo del valor del activo subyacente para el año 2013.	101
Figura 18. Árbol binomial del proyecto	104
Figura 19. Cálculo recursivo del valor del proyecto	104

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación en Colombia de los tipos de Patentes.	21
Tabla 2. Valores aproximados de la Tasa de Descuento ajustada al riesgo utilizada en negociaciones de licencias	27
Tabla 3. Resumen enfoques para la valoración de patentes	33
Tabla 4. Factores en la Teoría de Opciones Reales.....	54
Tabla 5. Usos de los PCBs	66
Tabla 6. Inventario de PCBs en Colombia.....	73
Tabla 7. Inventario de PCBs en diferentes países	75
Tabla 8. Inventario de PCBs en los países objeto de estudio	78
Tabla 9. Datos técnicos de la valoración.....	78
Tabla 10. Consideraciones y supuestos iniciales.....	79
Tabla 11. Características por planta	80
Tabla 12. Inversión en variación de capital de trabajo en otros países año 2017.....	81
Tabla 13. Inversión en variación de capital de trabajo en Colombia	82
Tabla 14. Supuestos del capital de trabajo	82
Tabla 15. Probabilidades de éxito de las fases de desarrollo de la tecnología.	85
Tabla 16. Resultados VPN de todo el proyecto.....	86
Tabla 17. Resultado del análisis tornado.....	88
Tabla 18. Parámetros para el cálculo del árbol binomial	100
Tabla 19. Resumen del valor del proyecto y recomendaciones del modelo de decisiones a tomar	105
Tabla 20. Efecto de variación de la tasa de descuento por país en el VPN total y el valor de la patente	112

INTRODUCCIÓN

En la actualidad uno de los aspectos que propicia el desarrollo del mundo de los negocios es la propiedad intelectual, muchos productos y servicios nacieron a partir de ideas innovadoras, que posteriormente fueron protegidas a través de estos derechos, y en especial por medio de patentes. En torno al protagonismo e importancia de las patentes en el campo económico, han surgido diversas metodologías y enfoques que procuran determinar el valor de estos activos, con el fin de facilitar diversos procesos de negociación.

Con base en lo anterior y partiendo de la necesidad de conocer el verdadero valor que una patente puede presentar, se procedió a investigar acerca de la aplicación de la teoría de opciones reales para evaluar este tipo de activos. Las razones de esta determinación se deben a la capacidad de la teoría de opciones para proporcionar un valor que tiene en cuenta la incertidumbre y la flexibilidad en la toma de decisiones del mundo de los negocios, características muy propias de proyectos de inversión que involucran patentes. Por medio de la presente investigación se pretende dar un marco de referencia acerca de la aplicación de la teoría de opciones reales para valorar patentes y proyectos de I+D+i, que permita ser empleado como punto de partida al efectuar este tipo de evaluaciones. De acuerdo a lo anterior se realizó la valoración de la patente de un proceso para descontaminación de aceites contaminados con PCBs desarrollado por investigadores de la Universidad del Valle, donde se ejemplifica la aplicación de la teoría mencionada en la valoración de patentes, sus ventajas, desventajas, y consideraciones.

El desarrollo de la presente investigación inicia con el planteamiento del problema (capítulo 1), donde se enfatiza la importancia de valorar patentes y la necesidad de emplear enfoques más apropiados a la actualidad de los negocios.

En el capítulo 2 se consignaron el objetivo general de la investigación así como de los específicos a cumplir a lo largo del trabajo.

Al pasar al capítulo 3, se da inicio al desarrollo de la investigación como tal, partiendo de los conceptos básicos relacionados con la propiedad intelectual a nivel mundial y sus diferentes tipos.

En el capítulo 4 se efectúa una revisión más profunda del tema de patentes, estableciendo la definición del término al igual que del valor de la patente, la necesidad de llevar a cabo estas valoraciones, así como las metodologías empleadas en la actualidad para determinar el valor de este tipo de activos.

El capítulo 5 trata el tema de la teoría de opciones reales en términos generales y posteriormente se enfatiza en la aplicación del enfoque para valorar patentes, revisando las maneras de emplear la valoración de opciones y culminando con la estructuración de la metodología a partir de investigaciones realizadas por diversos autores que fueron tomados como referencia.

El capítulo 6 corresponde a la aplicación de la metodología para la valoración de la patente desarrollada por investigadores de la Universidad del Valle, donde se identifican todos los

parámetros necesarios y se ejecutan los pasos señalados en la metodología estructurada al final del capítulo anterior para obtener el valor de la patente y se realizan algunos análisis de los resultados obtenidos.

Finalmente se presentan las conclusiones y algunas recomendaciones para futuras investigaciones en el tema.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La mayoría de decisiones de inversión, incluyendo las relacionadas con patentes de nuevos productos o mejoras de procesos, se caracterizan por su irreversibilidad y el alto grado de incertidumbre, Cerqueti et al, (2009). Las características mencionadas resaltan una cualidad inherente de las patentes y el desarrollo comercial de éstas, la cual hace referencia a la existencia de múltiples opciones o formas de actuar frente a las situaciones que se presentan a lo largo de su desarrollo comercial. La existencia de aquellas alternativas de operación se traduce en flexibilidad para la toma de decisiones en las organizaciones que adquieren las patentes, lo que representa un valor adicional a tener en cuenta al momento de valorar este tipo de activos, Bloom y Van Reenen (2002).

A pesar del grado de incertidumbre inherente a las ganancias generadas a raíz de la producción y comercialización de productos y procesos patentados, que se traduce en las diferentes alternativas u opciones a seguir, los métodos más tradicionales para la valoración de patentes parecen no tener presente esta importante característica. Métodos entre los que se encuentran el análisis de flujos de caja descontados, el Valor Presente Neto (VPN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y la Tasa Interna de Retorno Modificada (TIRM), por mencionar algunos, al parecer no son suficientes al momento de evaluar diferentes tipos de inversiones, Manotas y Manyoma (2001), entre las que se puede mencionar incluso las relacionadas con la adquisición de patentes.

Las empresas interesadas en realizar la inversión en una patente, tienen un tiempo establecido para decidir si ejercer y desarrollar la misma después de que la han adquirido, es decir, tienen el derecho pero no la obligación de comprar un activo determinado en el futuro, este tipo de opción es análogo a una opción financiera del tipo Call (Dixit y Pyndick, 1995). La analogía mencionada anteriormente es la introducción a un enfoque alternativo para la valoración de proyectos de inversión conocido como opciones reales, término acuñado por el profesor de la Escuela de Negocios MIT (Sloan School of Management Massachusetts Institute of Technology) Stewart Myers en el año de 1977. Las Opciones Reales (nombradas de aquí en adelante como OR) surgen como una herramienta complementaria del análisis tradicional de flujos de caja, la cual contribuye a entender y obtener un mejor provecho de la incertidumbre, tratando de valorar las múltiples alternativas que seguramente presentará en el futuro cualquier proyecto (Manotas y Manyoma, 2001).

La aplicación de OR para la valoración de proyectos de I+D+i se ha venido realizando desde hace varios años, ejemplo de ello son Schwartz, (2004), Hartmann y Hassan (2006), Hsu y Schwartz, (2008), Heckhause, Hughes y Gabriel, (2008), Wang y Hwang, (2005), Bekkum, Pennings y Smit, (2009) entre otros. Uno de los estudios reveladores en cuanto a la implementación de la metodología de OR fue realizado por Hartmann y Hassan, (2006), quienes utilizaron el análisis de opciones reales para la valoración de un proyecto de I+D+i de la industria farmacéutica. En el estudio realizado, se hace referencia a la disminución en la utilización del enfoque de OR para la valoración de proyectos de inversión, según una encuesta citada por Hartmann y Hassan en su

artículo, y realizada por la firma alemana Bain and Co, se encontró que sólo el 9% de los 421 participantes encuestados utilizaban el enfoque de OR, mientras se observó un porcentaje de abandono de la metodología del 32% para el año 2003. Según los autores, en las compañías alemanas el nivel de conocimiento sobre el enfoque de opciones reales constituye entre un 30 y 35%, dependiendo del nivel de la compañía encuestada. Entre las razones acerca del abandono de la metodología, se tiene el bajo nivel de conocimiento y uso de la misma; se encontró que se percibía el enfoque de OR como complejo para el común de las personas en las organizaciones encuestadas.

Por otro lado, a pesar de que el uso de las OR en la valoración de proyectos de inversión lleva más de dos décadas de historia, se han generado pocos cambios en la forma como son valoradas las oportunidades de inversión. Los resultados obtenidos en la aplicación de estos métodos en proyectos actuales de gran complejidad, así como las oportunidades de inversión de la vida real y el uso de simulaciones computacionales con datos razonables, se destacan por su ausencia en la literatura, Bowe y Lee (2004). Trigeorgis, (1996) declaró que para tener un mejor entendimiento y sustentar el uso de la metodología de OR, era necesario analizar casos de estudio basados en datos del mercado que representen la actualidad de los negocios. En Colombia son pocos los avances logrados en materia de valoración a través de OR, siendo los más representativos los realizados en la Universidad Eafit, la Universidad del Valle y la Universidad Javeriana. Sin embargo, es un tema que en el país apenas comienza a ganar adeptos en el sector académico. Para el sector productivo es totalmente nuevo, por lo que las aplicaciones de orden empresarial son escasas, Calle y Tamayo, (2009). Pabón, (2007) hace referencia a la poca difusión en Colombia tanto a nivel empresarial como académico del enfoque, debido en parte a la baja disponibilidad que tienen de estudiar y aplicar las nuevas metodologías aquellas personas encargadas de los proyectos, sumado a la posible dificultad al momento de determinar las variables que intervienen en el proceso de valoración.

Se evidencia entonces, una falta de claridad respecto al enfoque de OR en la valoración de patentes originadas a partir de proyectos de I+D+i. Esta falta de claridad se postula, como una de las posibles causas generadoras del poco entendimiento y aceptación hacia el tema, sumado a la ausencia de registros acerca de la aplicabilidad del enfoque de valoración de proyectos de inversión a nivel empresarial, haciendo referencia al caso colombiano. Surge de esta manera la pregunta acerca de ¿cómo realizar la valoración de una patente con potencial comercial utilizando el enfoque de OR, como herramienta que permite tener en cuenta la flexibilidad asociada a este tipo de proyectos? De acuerdo a lo anterior, se hace necesaria la identificación y desarrollo de la metodología de opciones para la valoración de patentes originadas a partir de proyectos de I+D+i. La importancia de la identificación de la valoración de patentes mediante el enfoque de OR, permitirá aclarar cómo y cuándo es posible aplicar ésta metodología, incluyendo los pasos a seguir para realizar dicha valoración. Esta identificación, será de utilidad para aquellas entidades u organismos que ya hayan desarrollado y patentado algún proyecto de I+D+i y que además requieran realizar una valoración del mismo para su comercialización, fortaleciendo los enfoques utilizados tradicionalmente al incluir la flexibilidad propia de este tipo de inversiones, convirtiéndose en una herramienta de apoyo para el desarrollo tecnológico e innovador del Valle del Cauca y Colombia.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Aplicar la metodología de Opciones Reales para valoración de patentes, a fin de ilustrar su utilización como herramienta que permite determinar el valor de este tipo de activos de propiedad industrial que generan derechos.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los conceptos fundamentales en relación a la propiedad intelectual industrial y especialmente acerca de las patentes, con la finalidad de caracterizar este tipo de derechos de exclusividad.
- Definir las metodologías más utilizadas para la valoración de patentes originadas a partir de proyectos de I+D+i, con el fin de conocer las ventajas y desventajas de cada una de estas.
- Revisar la literatura de Opciones Reales con el propósito de estructurar la metodología para valoración de patentes originadas a partir de proyectos de I+D+i.
- Desarrollar un caso de estudio que permita mostrar la utilización de la metodología de Opciones Reales como herramienta para la valoración de patentes.

3. PROPIEDAD INTELECTUAL

El desarrollo de nuevos adelantos para el beneficio de la humanidad, sin importar cuáles sean sus aplicaciones, surge a partir de la materialización de ideas provenientes de personas o instituciones que se esmeraron por desarrollarlas. En la Declaración Universal de los Derechos Humanos, explícitamente en el artículo 27, se hace referencia a que *“Toda persona tiene derecho a la protección de los intereses morales y materiales que le correspondan por razón de las producciones científicas, literarias o artísticas de que sea autora”*, a partir de este artículo es mediante el cual se fundamenta toda la base legal para la protección de aquellas ideas innovadoras con algún potencial comercial.

La definición global de propiedad intelectual se puede sintetizar según lo consignado en el manual propuesto por la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI), donde se refiere a *“aquellas creaciones de la mente: invenciones, obras literarias y artísticas, así como símbolos, nombres e imágenes utilizadas para el comercio”*.

La propiedad intelectual se divide en dos categorías: propiedad industrial y derechos de autor. La propiedad industrial comprende las patentes de invenciones, las marcas, los diseños industriales y las indicaciones geográficas, mientras los derechos de autor hace referencia a obras literarias, películas, obras musicales, obras artísticas, dibujos, pinturas, fotografías, dibujos y diseños arquitectónicos, OMPI (2008). De acuerdo a la finalidad de la presente investigación, se procederá a realizar una breve explicación de los diferentes tipos de protección de los derechos de propiedad intelectual.

3.1. DERECHOS DE AUTOR Y DERECHOS CONEXOS

Las leyes de derechos de autor o leyes copyright se establecieron en el año de 1790, sin embargo esta idea proviene desde el siglo XV con la aparición de la prensa para impresión en Inglaterra. Los derechos de autor usualmente corresponden a trabajos creativos o material escrito, tales como libros, música, imágenes fotográficas, ilustraciones, guiones, grabaciones de televisión o cine, y códigos de software. A diferencia de las patentes, el proceso para aplicar a derechos de autor es relativamente claro y sencillo. Los derechos de autor son una manera de proteger la expresión de una idea, y no la idea propia, al igual que una patente no protege la idea sino su materialización como producto o proceso, Smith y Parr (2005).

3.2. MARCAS

Las marcas existen desde hace milenios al igual que hoy día se emplean para diferenciar determinados bienes de acuerdo a sus características y calidad. La OMPI (2008) define este tipo de protección de la siguiente manera: *“Una marca es una señal que individualiza los bienes de una determinada empresa y distingue estos de los bienes de la competencia”*. Al individualizar un

producto por medio de la marca se puede indicar la fuente o procedencia, lo que genera en los consumidores confianza de la utilización de los productos o servicios. Las marcas también representan un criterio de protección por lo que garantizan la diferenciación del producto, a su vez que permiten establecer una relación con los posibles efectos nocivos de una marca si esta tiene un carácter engañoso o si viola el orden público o las buenas costumbres, OMPI (2008).

3.3. DISEÑOS INDUSTRIALES Y CIRCUITOS INTEGRADOS

En un sentido general, diseño industrial se refiere a la actividad creativa de lograr una apariencia formal u ornamental para productos de producción masiva. Satisface tanto la necesidad del ítem de ser visualmente atractivo para los consumidores potenciales y la necesidad del cumplimiento eficiente de su función. En términos legales, el diseño industrial se refiere al derecho adjudicado en muchos países, de conformidad con un sistema de registro, para proteger la originalidad y las características no funcionales de un artículo o producto industrial, que resulta de una actividad de diseño, OMPI (2008).

Igualmente la OMPI incluye dentro de esta clasificación, a los circuitos integrados o electrónicos, los cuales son los productos de chips semiconductores que integran circuitería y lógica, Smith y Parr (2005). La esencia de un chip es el diseño de circuito electrónico, en el Acta de Derechos de Autor de Los Estados Unidos número 17 Sección se define como:

“Una serie de imágenes, fijadas o codificadas que posean una representación predeterminada, patrón tridimensional de materiales metálicos, aislantes o semiconductores retirados de la capa de un producto de chips semiconductores, en la cual la relación entre la serie de imágenes de uno a otro es tal que cada imagen tiene un diseño en la superficie de uno de los productos de chips semiconductores”.

3.4. INDICACIONES GEOGRÁFICAS O DENOMINACIÓN DE ORIGEN

El término “indicación geográfica” ha sido elegido por la OMPI para describir un nuevo tratado para la protección internacional de nombres y símbolos los cuales indican un cierto origen geográfico de un producto determinado. Con relación a lo anterior, el término se destina a un sentido más amplio. Esto involucra todos los significados existentes de protección de tales nombres y símbolos, independiente de si indican que las cualidades de un producto dado son debido a su origen geográfico (tales como denominaciones de origen), o si simplemente indican el lugar de origen de un producto (tales como las indicaciones de fuente). Esta definición también involucra símbolos, ya que las indicaciones geográficas no solo constituyen nombres, tales como el nombre de una ciudad, región o país (“indicaciones geográficas directas”), sino que también pueden constituir símbolos. Tales símbolos pueden ser capaces de indicar el origen de bienes sin indicar literalmente el lugar. Algunos ejemplos de tales indicaciones geográficas indirectas son la Torre Eiffel de París, el Matterhorn de Suiza o la Torre Puente de Londres.

Para el caso de Colombia, la definición de la Superintendencia de Industria y Comercio explica que una denominación de origen es el nombre o indicación de un lugar geográfico, que puede ser un país o región determinada, que designa un producto que por ser originario de dicha región y por las costumbres de producción o transformación de sus habitantes, tiene unas características y/o reputación que lo hacen diferente de los productos semejantes provenientes de otros lugares geográficos.¹

Se debe distinguir de las marcas, ya que una marca identifica la empresa la cual ofrece ciertos productos o servicios en el mercado, por el contrario una indicación geográfica identifica el área geográfica en la cual importantes empresas se ubican y en donde producen algún tipo de producto por el cual la ubicación geográfica es utilizada. Esto no significa la “propiedad” sobre la indicación geográfica en el sentido que una persona o empresa pueda excluir a otras personas o empresas el uso de la indicación geográfica, pero todos y cada uno de los que se ubica en el área de la indicación geográfica tienen el derecho de usar tal indicación para los productos originarios de dicha área, pero posiblemente sujetos al cumplimiento de ciertos requerimientos de calidad prescritos, por ejemplo, en acuerdos de grado administrativo y gubernamentales para usar poder emplear dichas denominaciones de origen.

3.5. PATENTES

La OMPI define el significado de patente como un derecho exclusivo concedido a una invención, que es el producto o proceso que ofrece una nueva manera de hacer algo, o una solución técnica a un problema. Una patente proporciona protección para la invención al titular de la patente habitualmente durante un tiempo de 20 años, de acuerdo a lo establecido en el artículo 30 de la decisión 344 del Acuerdo de Cartagena.

Trasladándose al caso de Colombia, una patente de invención, según el artículo 35 de la Decisión 344 es un título a través del cual el Estado “*confiere a su titular el derecho de impedir que terceros, sin su consentimiento, exploten la invención patentada*”, Este título permite explotar de manera exclusiva una invención, dentro de un marco de obligaciones y restricciones, a personas naturales o jurídicas involucradas en la gestación o el desarrollo de la invención, Chaparro (1997).

De acuerdo a información de la OMPI, la protección de una patente significa que la invención no puede ser confeccionada, utilizada, distribuida o vendida comercialmente sin el consentimiento del titular de la patente. El cumplimiento de los derechos de patente normalmente se hace respetar en los tribunales que, en la mayoría de los sistemas, tienen la potestad de sancionar las infracciones² a la patente. Del mismo modo, un tribunal puede declarar no válida una patente si un tercero obtiene satisfacción en un litigio³ relacionado con este activo.

¹ <http://www.sic.gov.co/es/web/guest/denominacion-de-origen>. Fecha de consulta 16 de julio de 2012.

² Infracción: Trata de la explotación desautorizada de la patente por parte de terceros.

³ Litigio: Conflicto de intereses o derechos que se dilucida en un proceso judicial.

<http://www.definicionlegal.com/definicionde/Litigio.htm> Fecha de Consulta: 25 de marzo de 2012.

El titular de una patente tiene el derecho de decidir quién puede o no utilizar la invención patentada durante el período en el que está protegida la invención, reservándose el derecho a conceder el permiso de explotación, o licencia a terceros para utilizar la invención de conformidad con términos establecidos de común acuerdo. El titular puede asimismo vender el derecho a la invención a un tercero, que se convertirá en el nuevo titular. Cuando la patente expira, lo mismo ocurre con la protección y la invención pasa a pertenecer al dominio público; es decir, el titular deja de poseer los derechos exclusivos sobre la invención, que pasa a estar disponible para la explotación comercial por parte de terceros.

3.5.1. Estructura de la documentación de una patente

La estructura de la documentación de una patente puede variar dependiendo del estado o país que adjudica el derecho, sin embargo presentan campos o contenidos en común, los cuales son de gran importancia para la extracción de la información así como para una correcta interpretación. En lo fundamental la información contenida en los documentos de las patentes, coincide con una lista más o menos estándar de puntos, entre los cuales se destacan el título, el resumen, la descripción y las reivindicaciones. La información para obtener una patente de invención deberá ser presentada ante la oficina nacional correspondiente (para el caso Colombiano ante la Superintendencia de Industria y Comercio) y deberá contener según lo estipulado en el artículo 13 de la decisión 344 del Acuerdo de Cartagena la siguiente información:

- a) Identificación del solicitante y del inventor.
- b) Título o nombre de la invención.
- c) La descripción clara y completa de la invención en forma tal que una persona versada en la materia pueda ejecutarla.
- d) Una o más reivindicaciones⁴ que precisen la materia para la cual se solicita la protección mediante la patente. Estas fijan el alcance de los derechos exclusivos de la patente, y por eso se dice que son su alma ya que sólo la tecnología incluida en ellas está protegida. Si un solicitante no las ha redactado correctamente, aquellos aspectos de la invención incluidos en la descripción, pero que no figuran en las reivindicaciones, pueden ser utilizados por cualquier persona sin la autorización del titular.
- e) Un resumen con el objeto y finalidad de la invención.
- f) El comprobante de haber pagado la tasa de presentación establecida.

3.5.2. Invenciones que pueden ser protegidas mediante patentes

Para que un producto o proceso pueda ser protegido mediante una patente debe tener un uso práctico, poseer un nivel notable de innovación, en otras palabras que no presente un adelanto tecnológico evidente o ya existente, y por último que el conocimiento técnico implícito requerido

⁴ Las reivindicaciones son explicaciones breves de ligeros cambios en el proceso o producto protegido por la patente con el fin de establecer un cerco de protección jurídica ante cualquier posible amenaza de explotación desautorizada de la patente.

para el desarrollo de esta innovación no se conozca de forma previa dentro del ámbito académico de la invención.

En numerosos países, las teorías científicas, los métodos matemáticos, las obtenciones vegetales o animales, los descubrimientos de sustancias naturales, los métodos comerciales o métodos para el tratamiento médico (excepto los productos médicos) por lo general, no son patentables debido a que incluyen al menos uno de los aspectos mencionados anteriormente.

3.5.3. Vías para patentar en Colombia

Las patentes son concedidas por una oficina nacional de patentes o por una oficina regional que trabaja para varios países, como la Oficina Europea de Patentes (OEP) y la Organización Africana de la Propiedad Intelectual (OAPI). De conformidad con dichos sistemas regionales, un solicitante pide protección para la invención en uno o más países y cada país decide si brinda protección a la patente dentro de sus fronteras. El Tratado de Cooperación en materia de Patentes (PCT), administrado por la OMPI, estipula que al presentar una única solicitud internacional de patente, tiene el mismo efecto que presentar las solicitudes nacionales en los países designados en el tratado. Un solicitante que desee protección puede presentar una única solicitud y pedir protección en tantos países signatarios como sea necesario. En Colombia la organización u oficina que concede patentes se conoce como Superintendencia de Industria y Comercio⁵.

Existen dos formas para obtener patentes en Colombia, Millán y Sugimoto (2010):

- a) La vía nacional, solicitándolas a la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC).
- b) La vía internacional o PCT (Tratado de Cooperación en Materia de Patentes), igualmente mediante la SIC, ya que Colombia hace parte de este tratado.

a) La vía nacional

Para el caso de Colombia, la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC) es la oficina encargada de otorgar las patentes a través de la División de Nuevas Creaciones.

La concesión de la patente otorga la protección de la invención y/o el modelo de utilidad, sin embargo, dicho privilegio se otorga a partir de la fecha en la cual se presentó la solicitud ante la SIC. En la Decisión 486 artículo 239, se menciona que una vez concedida la patente el titular puede ejercer una acción judicial por daños y perjuicios contra los que han usado la invención o modelo de utilidad, durante el período comprendido entre la fecha de publicación y la fecha de concesión.

b). La vía internacional

Una patente obtenida en Colombia solamente protege su invención en el territorio nacional. Para poder obtener protección en varios países se puede presentar la solicitud mediante el Tratado de

⁵ En la página de la Superintendencia de Industria y Comercio se puede encontrar todo tipo de información acerca de trámites sobre patentes y propiedad industrial. <http://www.sic.gov.co/en/>

Cooperación en Materia de Patentes (PCT) que es un acuerdo de cooperación internacional que tiene como objetivo simplificar y hacer más eficaz y económico el procedimiento de presentación de solicitudes de patentes en varios países. El PCT le permite a través de una solicitud única (solicitud internacional) presentada en una sola oficina, (oficina receptora), y redactada en un solo idioma, tener los mismos efectos que una solicitud nacional. El solicitante puede ser cualquier persona natural o jurídica, nacional o domiciliada en Colombia. Si son varios los solicitantes, al menos uno de ellos debe cumplir con el requisito de nacionalidad y domicilio. Mediante el PCT, sólo es posible proteger las invenciones solicitando patente de invención o modelo de utilidad, y títulos similares tales como certificados de inventor, certificados de utilidad, varias clases de patentes y certificados de adición, cuando la legislación nacional admita una de estas figuras. No es posible obtener protección para los diseños industriales ni las marcas de fábrica o comercio.

El tiempo necesario para la concesión de una patente dependerá del procedimiento de registro y de varios factores. En Colombia la oficina de patentes lleva a cabo un examen de fondo para verificar si la patente cumple con los criterios de patentabilidad relativos a la novedad, la actividad inventiva y la aplicación industrial, todo el procedimiento, desde la solicitud a la concesión, llevará generalmente más de 12 meses, y en numerosos casos más de 18.

3.5.4. Tipos de Patentes

Debido a la importancia de Estados Unidos en el tema de patentes, se tiene que la Oficina de Patentes de los Estados Unidos, asume solo tres tipos de patentes: las patentes de utilidad, las patentes de plantas y las patentes de diseño.

Patentes de Utilidad: Una patente de utilidad cubre la metodología, la formula, o tecnología que resulta en la creación de la nueva invención, según el Título 35 del Código de los Estados Unidos, Sección 101, Invenciones Patentables: *“Quien invente o descubra cualquier máquina o nuevo proceso de producción, fabricación o composición de la materia, así como cualquier mejoramiento nuevo y útil de los mismos, podrá obtener una patente sujeta a las condiciones y requisitos de este título”*

Patentes de Plantas: Las patentes también se emiten para plantas, según la ley de patentes de los Estados Unidos 35 U.S.C. 161 Patents for plants *“Quien haya inventado descubierto y reproducido asexualmente alguna nueva o distinta variedad de planta, incluyendo, mutantes, híbridas, así como plántulas sin tener en cuenta las plantas de tubérculo reproducidos y aquellas plantas que se encuentran en estado no cultivado, puede obtener una patente por ello. ”*. Las patentes de plantas también tendrán un plazo de protección de 20 años a partir de la fecha de presentación de la solicitud.

Patentes de Diseño: Las patentes de diseño se emiten por un plazo de 14 años y se describen de la siguiente manera: *“La persona que invente cualquier diseño nuevo, original y ornamental de un artículo de fabricación puede obtener una patente por ello...”*. Las patentes de diseño solo protegen la apariencia de un objeto, no su estructura o características utilitarias...”

En Colombia una patente es otorgada para invenciones o para modelos de utilidad. Mientras que en el caso de la invención se exige y se evalúa rigurosamente el nivel inventivo, en el modelo de utilidad no se lo considera. El modelo de utilidad, se sustenta en la novedad y la aplicación industrial, Chaparro (1997). El mismo autor define esta clasificación de patentes de la siguiente manera:

Patente de Invención: Una invención dentro del campo de patentabilidad puede ser patentada si cumple con las condiciones: novedad, altura inventiva y aplicación industrial, para este caso se requiere que la invención no haya sido conocida públicamente, en ningún lugar del mundo, por ningún medio escrito u oral, o por su utilización. Chaparro (1997)

Patente de Modelo de Utilidad: Según la Decisión 344 se establece que “*se concederá patente de modelo de utilidad a toda nueva forma, configuración o disposición de elementos de algún artefacto, herramientas, instrumento, mecanismo u otro objeto; de alguna parte del mismo que permita un mejor o diferente funcionamiento, utilización, fabricación del objeto que lo incorpora o, que le proporcione alguna ventaja o efecto técnico que antes no tenía*”

Es importante resaltar que los modelos de utilidad se refieren exclusivamente a la mejora de productos, y no de procesos.

Tabla 1. Clasificación en Colombia de los tipos de Patentes.

Derechos	Forma de Protección	Duración	Obligaciones	Requisitos
Patente de Invención	Patentes	20 años	Explotación, Comercialización, Registro de Licencias	Novedad, Nivel Inventivo, Aplicación Industrial
Modelo de Utilidad	Patente	10 años	Explotación, Comercialización, Registro de Licencias	Novedad, Aplicación Industrial

Fuente: Tomado del Manual sobre la propiedad intelectual de productos derivados de la actividad académica en universidades y centros de investigación (2007).

4. VALORACIÓN DE PATENTES

El valor de una patente es determinante al momento de llevar a cabo proyectos de inversión bajo las condiciones de la economía actual, gran parte de los negocios incluyen tecnologías, procesos o productos que se encuentran protegidos por patentes. El tema de valoración de patentes ha sido trabajado desde hace varios años por autores como Pitkethly (1997), Schankerman (1998), Boer (2002), Schwartz (2004), Zieger y Scheffer (2005), Smith y Parr (2005) entre otros, lo que ha permitido el desarrollo de diversos enfoques para hallar el valor de este tipo de activos algunos de los cuales serán tenidos en cuenta durante el presente trabajo.

4.1.NECESIDAD DE VALORAR PATENTES

Como se mencionó en el capítulo 3, una patente es un activo que aunque intangible debe ser administrado como cualquier otro. La gestión de éste puede realizarse ya sea durante su fase de solicitud o cuando ya ha sido otorgado, en cualquiera de los dos casos es esencial conocer cuál es el valor de estimado de la patente, aspecto indispensable para la toma de decisiones, Pitkethly (1997), así como para la gestión objetiva y la disponibilidad de informes financieros para los inversionistas involucrados en un determinado proyecto, Carbonell (2002).

Por su parte Park y Park (2004) se enfocan en la valoración de tecnologías, indicando que su necesidad de valoración toma importancia a partir del interés de algunos gobiernos por realizar inversiones en sistemas nacionales de I+D+i, subsidios o préstamos para estos programas, así como proyectos de transferencia de tecnología. Desde el punto de vista del capital privado, los autores mencionan el interés de actores como los inversionistas de capital de riesgo, las empresas de consultoría y agentes tecnológicos, por contar con formas sistemáticas de valoración que permitan la toma de decisiones sobre inversiones, licencias y alianzas estratégicas.

La necesidad de valorar patentes es de importancia para efectuar una amplia variedad de transacciones y negociaciones, desde decidir si renovar la licencia de la patente, hasta emprender el proceso para obtener este derecho de exclusividad, sin embargo adicional a lo anterior Kamiyama, et al (2006), resaltan la importancia que tiene para los analistas financieros e inversionistas la propiedad intelectual, incluyendo las patentes al momento de determinar el valor de una firma, reconociendo las patentes como un indicador de las capacidades tecnológicas de una organización.

Chiu y Chen (2007), resaltan las patentes como la mayor fuerza en la economía mundial, y su valor como una de las pocas medidas empleadas para percibir la innovación y generación de nuevas ideas.

Para Lai, et al (2008) en el rápido desarrollo de las tecnologías y el crecimiento de la era del conocimiento, los activos intangibles hoy día toman más importancia que años atrás. Los autores mencionan que las patentes desempeñan un papel de liderazgo respecto a los demás activos intangibles. Estas contribuyen a la generación de ingresos de una empresa, al rendimiento de sus acciones, a su reputación, a la investigación y el desarrollo.

Más recientemente Yan, Hong y Lucheng (2010), afirmaron que bajo la influencia de la presión competitiva y la reducción de los ciclos de vida de los productos, muchas compañías se han interesado en diversificar sus portafolios tecnológicos, así como en acelerar la introducción de nuevas tecnologías al mercado propiciando las negociaciones de estos activos entre empresas, lo que ocasiona la necesidad de su valoración para facilitar dichos procesos.

Las patentes desempeñan un papel de mayor importancia en la actualidad, debido a que son el reflejo de la capacidad inventiva, de investigación y desarrollo de organizaciones, gobiernos, universidades y demás entes que buscan hacer parte del panorama económico mundial. Poder determinar el valor de una patente no sólo es necesario para la negociación directa de este activo, sino que también es relevante para la realización de una amplia variedad de operaciones como préstamos bancarios, valoración de empresas, acuerdos comerciales, alianzas estratégicas, inversiones, generación de nuevos productos, asignación de licencias entre otras actividades que pueden llegar a influenciar el valor de otros activos relacionados con las organizaciones propietarias de las patentes.

4.2.DEFINICIÓN DEL VALOR DE UNA PATENTE

Antes de iniciar una valoración es necesario saber qué es el valor de una patente, es decir el objetivo al que se pretende llegar con la valoración. El valor de una patente regularmente se confunde con el valor de la tecnología subyacente, la cual está siendo protegida mediante este tipo de activo de propiedad intelectual, sin embargo el valor de la tecnología y el de la patente son realmente diferentes. La patente como se vio anteriormente, proporciona una protección de explotación desautorizada en un territorio determinado durante un horizonte de tiempo que normalmente es de 20 años, después de dicho tiempo, la patente no tendrá validez y su valor se reducirá a cero, mientras que la tecnología como tal continuaría generando beneficios a quienes la exploten incluso después del vencimiento de la patente hasta que aparezca una nueva tecnología que la reemplace. De acuerdo a lo anterior, Pitkethly (1997) resalta el valor de la patente o de la solicitud de patente, como el valor de los beneficios extras obtenidos por la explotación de la invención protegida con la patente, comparado con el valor de los beneficios obtenidos por la invención subyacente sin la protección de la patente. De manera más clara Ernts et al (2010) resumen lo dicho por Pitkethly (1997) mediante la Ecuación (4.1):

$$V_{PATENTE} = V_{CON PROTECCIÓN} - V_{SIN PROTECCIÓN} \quad (4.1)$$

En donde

$V_{PATENTE}$ = Valor de la patente

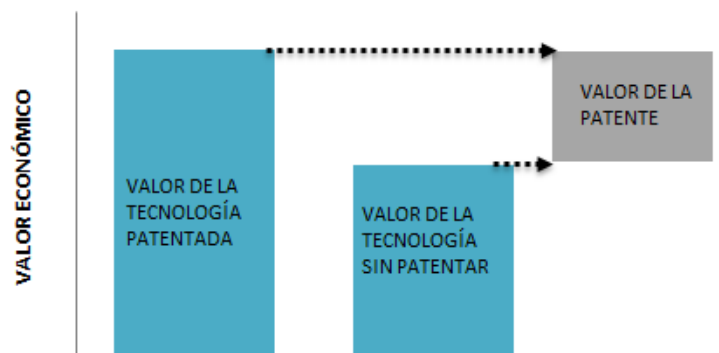
$V_{SIN PROTECCIÓN}$ = Valor del proyecto o tecnología sin la protección de la patente

$V_{CON PROTECCIÓN}$ = Valor del proyecto o tecnología con la protección de la patente

En la Ecuación (4.1) el valor de la patente como tal refleja la capacidad de protegerse, negando a otros ingresar a competir en el mercado durante el periodo en el cual esta se encuentre vigente y permitiendo a la empresa o a quien explote la patente manejar precios y ventas más altas. Murani y Oriani (2010) explican el valor de la patente como el valor del derecho de protección, el cual es un

valor incremental superior a los rendimientos obtenidos sin la protección de la patente tal como se muestra en Figura 1.

Figura 1. Concepto del Valor de Patente



Fuente: The economics valuation of patents: method and applications. Munari y Oriani (2010)

Algunas de las dificultades con la teoría anterior en relación con el valor de la patente, radican principalmente en la dificultad para conseguir información que permita saber cuál será el valor del proyecto o tecnología con la protección de la patente y la ausencia de esta. Se requiere de un conocimiento del mercado lo suficientemente preciso que permita inferir el impacto de la tecnología patentada sobre este. Munari y Oriani (2010) afirman que debido a la dificultad de consecución de información relacionada con el supuesto del negocio protegido por patentes, el cálculo de los límites inferior y superior para la venta o compra de patentes, debe estar basado en el valor total de la tecnología y no únicamente en el derecho legal, por lo que la Ecuación (4.2) resume el valor de la patente como:

$$V_{PATENTE} = \text{Valor de la tecnología patentada} \quad (4.2)$$

Que explicado de otra manera puede ser representado por la Ecuación (4.3).

$$V_{PATENTE} = \text{Valor tecnología subyacente} + \text{protección legal} \quad (4.3)$$

En donde la protección legal se refiere al valor incremental que proporciona poseer el derecho legal sobre la tecnología y que a su vez genera una figura de monopolio sobre esta.

4.3. ENFOQUES PARA VALORAR PATENTES

La valoración de patentes involucra diferentes enfoques y metodologías que pueden ser aplicados de acuerdo a las características propias de cada una de las patentes en estudio. Afirmar que cada uno de estos enfoques o metodologías para valorar patentes es mejor que otra resultaría precipitado, ya que cada enfoque abarca un campo o concepto en especial, que de una u otra forma proporcionan

información relevante para la toma de decisiones de gerentes, inversionistas, centros de investigación, gobiernos entre otros.

A pesar de la diferencia entre los enfoques de valoración existentes, la valoración de una solicitud o de una patente en si, implica la necesidad de emitir juicios sobre el futuro, de la misma manera que los precios de una acción en el mercado influyen el juicio de los inversionistas sobre el desempeño futuro de una empresa. En ese sentido es inevitable un cierto grado de “especulación”. Todos los métodos o enfoques de evaluación de patentes implican algún elemento de predicción para pronosticar los flujos de caja futuros, las condiciones del mercado, los efectos de la competencia y la distribución, así como la volatilidad de los retornos de las patentes. La “especulación” es necesaria e inevitable en todos los aspectos, desde las decisiones acerca de continuar con las solicitudes de patentes, hasta el pago de las tasas de renovación de las mismas ya concedidas, Pitkethly (1997).

Cromley (2004) publicó un artículo en el diario especializado *Journal of Accountancy*, acerca de los pasos que se deben seguir en un proceso de valoración de una patente teniendo en cuenta diferentes perspectivas. Los veinte pasos que el autor señala se deben llevar a cabo son: 1). Verificar si la patente se encuentra vigente, 2) Identificar el contexto, 3) Recopilar Información, 4) Reunir un equipo de valoración, 5) Leer la patente, 6) Investigar el alcance de la patente, 7) Hablar con el abogado de la patente, 8) Averiguar acerca de la validez de las patentes, 9) Indagar sobre patentes de bloqueo, 10) Considerar la sinergia entre patentes, 11) Investigar la protección foránea de la patente, 12) Investigar el tiempo de vida que queda de la patente, 13) Analizar las regalías pagadas antes de las patentes, 14) Investigar cualquier litigio o amenaza de participación de la patente, 15) Identificar la mejor alternativa tecnológica, 16) Estimar la curva de demanda del artículo patentado, 17) Determinar el punto donde se maximizan los beneficios del producto patentado, 18) Considerar la aplicación de los métodos de valoración tradicionales, 19) Realizar la valoración mediante el enfoque de los ingresos, y por último 20) Escribir el reporte de valoración de la patente. El autor señala los pasos necesarios e indica el enfoque de los ingresos como uno de los más habituales a utilizar en la valoración de patentes.

Los diferentes enfoques señalados en la literatura relacionada con la valoración de propiedad intelectual y en especial de las patentes, pueden ser divididos en 3 principales o más conocidos; el enfoque de los ingresos, el enfoque del mercado y el enfoque de los costos. La teoría de opciones reales tiene en cuenta parte de los tres enfoques mencionados (principalmente el enfoque de los ingresos) y es la que se empleará en la presente investigación. A continuación se presentarán estos tres enfoques, así como otros menos conocidos.

4.3.1. Enfoque de los ingresos

El enfoque de los ingresos intenta calcular el valor presente del flujo de ingresos futuros proyectados sujeto a la vida económica de la patente. Pitkethly (1997) menciona este enfoque como una mejora en relación a los enfoques del mercado y el costo (los cuales se tratarán más adelante), ya que este incluye la predicción de los ingresos de la patente, lo que indica cierta apreciación del valor de la patente en lugar de sólo su precio de mercado o costo. Este enfoque procura tener en

cuenta elementos de tiempo e incertidumbre en flujos de caja futuros como es el caso de los métodos convencionales de Flujo de Caja Descontados (FCD). Algunos autores como Yan et al (2010), toman el enfoque de los ingresos como el mismo enfoque de FCD, teniendo en cuenta el valor del dinero en el tiempo al calcular los flujos de caja futuros.

Es posible identificar y predecir los flujos de caja particulares que son asociados a un determinado derecho de propiedad intelectual a través de su licencia o de su explotación directa. Al hablar de las licencias, se hace referencia a los ingresos obtenidos a partir de las regalías que se recibirían por otorgar la licencia de la patente. El dueño de la patente o quién tiene el derecho de explotación sobre esta decide entre fabricar directamente o través de subsidiarias, así como también si licenciar la patente para que otro la explote, dependiendo de la forma de explotación que se emplee así se verá afectado el valor de la patente.

Las consideraciones al emplear el enfoque de los ingresos son:

- Es importante tener en cuenta que cuando el flujo directo de ingresos sujeto a la patente no se tiene disponible, se requiere aislar este valor de los flujos de ingresos agregados del proyecto.
- El cálculo de la tasa de descuento apropiada es uno de los puntos más importantes al utilizar este tipo de enfoque. Muchos analistas se han esforzado en determinar cuál es la tasa de descuento apropiada cuando se emplea el valor presente de los flujos de caja. Algunos especialistas en la materia han ideado algunos conceptos reconocidos en esta área para procurar calcular la tasa de descuento apropiada, entre estos se tienen: El Modelo de Precios de Activos del Capital (CAPM)⁶, la teoría del precio de arbitraje (APT)⁷, el modelo de Tres Factores de Fama y French⁸, entre otros. Se debe utilizar la tasa de descuento apropiada, distinguiendo el riesgo asociado al proyecto, conocido como riesgo diversificable y el riesgo del mercado o riesgo sistemático.

En el campo de la valoración de tecnología la determinación de la tasa de descuento debe de tener en cuenta el nivel de riesgo inherente a cada uno de los proyectos, Razgaitis (2009) realiza una

⁶ El Modelo de Valuación de Activos de Capital o modelo de equilibrio de activos financieros, mejor conocido como CAPM por su denominación en inglés (Capital Asset Pricing Model), fue desarrollado por Sharpe (1964) y Litner (1965). Ambos basaron sus estudios en las investigaciones realizadas por Markowitz y Tobin (1960), quienes afirmaron que todos los inversionistas seleccionan sus carteras a través del criterio media-varianza.

El objetivo del modelo es cuantificar e interpretar la relación que existe entre el riesgo y el rendimiento porque a través de esta relación lineal se puede establecer el equilibrio entre los mercados financieros.

⁷ La Teoría del Arbitraje o en inglés Arbitrage Pricing Theory (APT) desarrollada por Stephe Ross(1976), es un modelo multifactorial que relaciona el rendimiento de los activos con diferentes variables. Cada una de esas variables afecta el rendimiento en una cierta cantidad representada por un coeficiente beta.

⁸ Fama y French (1993) proponen un modelo de tres factores el cual captura la mayor parte de las variaciones en los rendimientos de los activos. Según este modelo, dichos rendimientos son muy bien explicados por tres factores: el rendimiento de la cartera de mercado, el rendimiento de una cartera "tamaño" y el rendimiento de una cartera "crecimiento".

clasificación de los márgenes entre los cuales se encuentran las tasas de descuento de diferentes tipos de proyectos en el campo de la valoración de tecnología, tal como se muestra en la Tabla 2. Los rangos de tasas que se muestran son elevados ya que incluyen primas de riesgo adicionales por aspectos como la probabilidad de falla, el riesgo de I+D, riesgo de producción o ejecución del producto o tecnología, la incertidumbre del mercado, el riesgo asociado con la propiedad intelectual, entre otros.

Tabla 2. Valores aproximados de la Tasa de Descuento ajustada al riesgo utilizada en negociaciones de licencias

Caracterización del riesgo	Valor aproximado de la Tasa de Descuento
O. Libre de riesgo, tal como la duplicación de una planta para fabricar mayor cantidad y vender un producto en respuesta a la presencia de una alta demanda	Se aproxima a la tasa de interés corporativa de los préstamos, la cual puede ser en un rango de 8-18%
IA. Muy bajo riesgo, tales como mejoramientos incrementales con una tecnología bien conocida en la fabricación de un producto existente y vendido en respuesta a una demanda existente	15-20% , visiblemente por encima de los objetivos corporativos de retornos sobre la inversión de los accionistas
IB. Bajo riesgo, tal como fabricar un producto con una nueva característica utilizando una tecnología bien conocida que se beneficia actualmente de un segmento de clientes conocidos con una demanda evidente de tales características	20-30%
II. Riesgo moderado, tal como fabricar un nuevo producto utilizando una tecnología conocida para un segmento de clientes , que se beneficia de productos fabricados por la corporación y con una demanda existente para tal producto.	25-35%
III. Alto riesgo, tal como fabricar un nuevo producto utilizando una tecnología poco conocida y comercializada para un segmento existente o una tecnología conocida en nuevo segmento de mercado	30-40%
IV. Riesgo muy alto, tal como fabricar un nuevo producto con una nueva tecnología para un nuevo segmento de mercado.	35-45%
V. Riesgo extremadamente alto (algunas veces conocido como "wildcatting", tomado de una expresión de la industria de exploración de petróleo), tales como la creación de una nueva compañía en un negocio de fabricación de un producto que no se vende en la actualidad o incluso se sabe que existe tecnologías aún sin probar.	50-70% o incluso mayor

Fuente: Valuation and Dealmaking of Technology-Based Intellectual Property, Principles, Methods and Tools, Razgaitis (2009)

Smith y Parr (2005), describieron que para el cálculo del VPN de los beneficios futuros se requiere el desarrollo de tres ideas principales, las cuales describieron como:

- El beneficio económico puede ser originado directamente de la explotación del activo del cual se es propietario.
- El modelo o patrón del cual se recibirán los beneficios económicos. Esto se puede interpretar como la estructura que permitirá generar los flujos o beneficios económicos, es

decir, como una representación de la realidad con el fin de permitir la toma de decisiones de determinado proyecto de inversión.

- Un supuesto acerca del riesgo asociado a la cantidad de beneficios económicos esperados de acuerdo al modelo.

Según los autores si se tienen en cuenta estos tres elementos será posible calcular el valor presente neto.

Entre las ventajas del enfoque de los ingresos se tienen:

- Facilidad aritmética para el desarrollo del cálculo de los valores presentes de los flujos de caja generados por las patentes, Smith y Parr (2005).
- Se enfatiza más en los beneficios futuros que puede generar la patente, además de ser sencillo de entender y aplicar, Zieger and Scheffer (2005).

Al hacer una revisión de la literatura relacionada con el enfoque de los ingresos, los autores han expresado diferentes puntos de vista en relación a las desventajas que este puede presentar al momento de ejecutar una valoración. Los principales aspectos a tener en cuenta del enfoque de los ingresos son:

- Dificultad para predecir los flujos de caja, Pitkethly (1997).
- El análisis necesario para el desarrollo de las entradas del modelo (cantidad de beneficios, el modelo de ingresos, y factores de riesgo) puede ser extremadamente complejo, Smith y Parr (2005).
- Dificultad para determinar la tasa de descuento apropiada. Entre los factores que pueden afectar la tasa de descuento, se incluyen la inflación, la liquidez, el interés real y la prima de riesgo, Kamiyama et al (2006).
- Incapacidad del enfoque para reflejar el valor preciso de los ingresos generados por una tecnología que no ha sido creada, y que sin embargo aporta valor a la empresa, Yan, et al (2010).

Una de las metodologías relacionadas con el enfoque de los ingresos más utilizados es la del Flujo de Caja Descontado (FCD)

La metodología de FCD es una de las más utilizadas en todo tipo de valoraciones, como lo afirman Yan et al (2010), los dos aspectos clave que esta metodología tiene en cuenta son: el valor del dinero en el tiempo y parte del nivel del riesgo del pronóstico de los flujos de caja, Pitkethly (1997). En esta metodología se puede utilizar una tasa de riesgo ajustada para descontar los flujos de caja previstos y tener en cuenta los aspectos de tiempo y riesgo al mismo tiempo o utilizar la certeza de los flujos de caja equivalentes, en el cual se ajusta la predicción de los flujos de caja para tener en cuenta el grado de riesgo y el cambio de este a lo largo del tiempo. El último método separa los dos aspectos riesgo y tiempo, lo que ayuda a evitar problemas cuando el riesgo ajustado varía todo el tiempo.

Pabón (2007) define la metodología de FCD como un modelo estático, donde un proyecto se ve como una corriente de flujos de caja específicos a los cuales se les asocia una distribución de probabilidad que es establecida de manera exógena, y genera un valor esperado de flujos de caja que son luego descontados por una tasa ajustada al riesgo, también exógena.

Uno de los casos de aplicación de este enfoque para la valoración de patentes lo realizan Tries y Vis (2007), al emplear la metodología para calcular los flujos de caja descontados generados por la licencia de una patente relacionada con un proceso químico que genera una reducción de costos. Los autores del artículo procedieron a la valoración de una patente relacionada con el proceso productivo de un commodity, donde el valor de la patente se verá influenciado por los ingresos obtenidos de licencias y los costos de mantenimiento de la misma. Por las características de la patente, no es necesario aplicar enfoques más sofisticados al tradicional FCD, trayendo los flujos de caja generados por las regalías de la licencia de la patente a una compañía competidora y restando los costos generados por el pago de la tasa de renovación anual de la patente, método mejor conocido como Valor Presente Neto (VPN) de los flujos de caja.

El Valor Presente Neto (VPN) de los FCD se presenta en la Ecuación (4.4).

$$VPN = -I_0 + \sum_{j=1}^{j=n} \frac{FC_j}{(1+k)^j} \quad (4.4)$$

En donde:

I_0 = Inversión inicial del proyecto

FC_j = Flujos de caja del periodo j

n = Horizonte del proyecto

k = Tasa de descuento apropiada al riesgo del proyecto

Flujos de Caja Descontados basados en el Análisis de Árboles de Decisión (DTA)

Esta metodología trata de tener en cuenta las diferentes posibilidades en la toma de decisiones. Pabón (2007) explica que los flujos de caja pueden ser controlados al menos de manera parcial en esta metodología, donde el administrador tiene la capacidad de influenciar la distribución de probabilidad de los futuros flujos de caja bajo el supuesto de que esta persona podría buscar mayor información acerca de las variables de entrada que determinan estos flujos. La gran ventaja del método de DTA sobre el análisis de FCD es que se construye el valor teniendo en cuenta la flexibilidad asociada a un proyecto o patente. Esto permite que al menos se tenga en cuenta la posibilidad de abandono, sin embargo no resuelve el problema de la tasa de descuento. De acuerdo con Pitkethly (1997), una mejora podría ser utilizar una tasa de descuento adecuada al riesgo involucrado en cada etapa, en lugar de una tasa constante para todo el proyecto.

4.3.2. Enfoque del Mercado

La idea básica de este enfoque es la valoración de activos estudiando los precios de otros comparables, los cuales han sido comercializados entre partes de un mercado activo. A Manera de ejemplo Ziegger y Scheffer (2004) explican este enfoque indicando que si un competidor ha vendido una patente parecida, es de suponer que la patente propia podría tener un valor similar. Este enfoque puede verse como un proceso de benchmarking tal como lo señala Cohen (2005), con el supuesto implícito de que los comparables tienen sus precios fijados correctamente.

Regularmente este tipo de valoración trabaja mejor con activos tales como commodities, o aquellos cuyos atributos estén claramente delineados y son fáciles de comparar en un mercado que se considera comercialmente activo. Algo interesante de este método, es que usualmente se relaciona con algún otro enfoque de valoración, un ejemplo de ello es que los precios a los cuales se realizan las comparaciones y negociaciones, deben tener en cuenta los flujos de caja futuros esperados, Cohen (2005). Este enfoque podría ser utilizado ampliamente siempre y cuando el mercado de patentes se volviera más activo tal como lo afirman Kamiyama, Sheenan y Martinez (2006).

Un aspecto que se debe recordar es la necesidad de realizar ajustes para emplear este enfoque, sobre todo cuando la diferencia entre la patente en estudio y la patente comparable lo requiera, Smith y Parr (2000),

Algunas ventajas del enfoque del mercado son:

Kamiyama, Sheenan y Martinez (2006) indican que la combinación de este enfoque con indicadores como el número de citaciones de la patente es otra forma de valorar estos activos con ventajas tales como:

- Valor de mercado objetivo y justo debido a las transacciones realizadas.
- Consistencia y eficiencia debido a la selección automatizada y objetiva de datos provenientes de las bases de datos públicas.
- Eficiencia de grandes portafolios de patentes.
- Sencillez al utilizar.

Entre los aspectos a tener en cuenta del enfoque del mercado se tienen:

- Una de las principales dificultades de este enfoque radica en la falta de transacciones de patentes que permitan comparar aquella que se está buscando valorar. Pitkethly (1997) afirma que este es el principal problema del enfoque ya que es difícil encontrar una transacción o negociación lo suficientemente parecida para poder realizar la valoración, corriendo el riesgo de realizar comparaciones que no justifican la evaluación.
- Ziegger y Scheffer (2004) señalan que las negociaciones se pueden efectuar con las acciones de las sociedades propietarias de las patentes más frecuentes, pero la asignación de valor entre el negocio y la patente es difícil de determinar.

- Por otro lado, Kamiyama et al (2006) mencionan un elemento adicional que se debe tener en cuenta el cuál es la falta de transparencia acerca de las características de las patentes que se han negociado, ya que un competidor puede manipular la información con el fin de presentar públicamente esta y obtener una posición de ventaja, lo que hace que este enfoque sea poco confiable y empleado. Los mismos autores hablan acerca de la incertidumbre estadística para valorar una sola patente así como la subestimación de patentes recientes y de las solicitudes de patentes.

4.3.3. Enfoque de los Costos

En casi todos los métodos de valoración de patentes es necesario emplear los costos futuros como parte de la evaluación así como lo afirma Pitkethly (1997). Carbonell (2002) resume diciendo que el valor de una patente es igual al costo de adquisición de la misma al emplear este tipo de enfoque. Cohen (2005) hace referencia al capital humano como el mayor componente de costos para activos intangibles. Como ejemplo se tienen un laboratorio farmacológico, en donde además de los gastos en laboratorios e infraestructura se tienen los salarios de los científicos que generan la idea patentable. Otro caso de ejemplo es el relacionado con firmas desarrolladoras de software, donde la materia prima principal son los programadores que realizan las líneas de códigos necesarias. El mismo autor habla del costo en libros, el cuál es el que se refleja en los estados financieros de la empresa. Los supuestos a tener en cuenta dependen de las características del activo para lograr determinar un valor justo de la patente. Cohen señala que en ocasiones se requiere tener en cuenta otros enfoques de valoración como el de los ingresos y el del mercado.

Según Smith y Parr (2005), el enfoque de los costos trata de medir los beneficios futuros de la propiedad intelectual mediante la cuantificación de la cantidad de dinero que se necesitaría para reemplazar la capacidad de servicio futuro de la propiedad intelectual o en este caso de la patente en cuestión. El supuesto subyacente de este enfoque es que el costo para comprar o desarrollar una nueva propiedad, es comparable con el valor económico del servicio que la propiedad proporciona durante su vida.

Este enfoque se emplea a menudo junto con la suposición de que los beneficios económicos de hecho existen y son de la cantidad y duración suficientes para justificar los gastos de desarrollo.

Zieger y Scheffer (2005) clasifican este enfoque en dos tipos de costos; el primero es el de los costos históricos, el cual trata de la medición de los costos actuales incurridos en la creación de una patente, el segundo trata de los costos de reemplazo, donde se cuantifica el costo estimado de sustitución de la innovación de patentes o de volver a crear un activo equivalente. Los mismos autores resaltan que el enfoque de los costos sólo puede ser utilizado en circunstancias limitadas, como por ejemplo cuando el costo de reemplazo se puede estimar con un grado razonable de confiabilidad y confidencia. A pesar de su amplio potencial de aplicación para valorar otro tipo de activos, el enfoque de los costos no es muy utilizado para valorar patentes, debido en parte a que no refleja el valor económico futuro de las patentes valoradas, este enfoque podría ser utilizado sin embargo como ayuda en sistemas contables, los cuales se basan en costos históricos y en donde

sumado a los métodos para determinar impuestos se consideran un complemento del enfoque de los ingresos, OMPI (2003).

Las Consideraciones al emplear el enfoque de los costos son:

- Pitkethly (1997), Smith y Parr (2005), Carbonell (2002) entre otros, señalan que la mayor falla de este enfoque es que no tiene en cuenta los beneficios futuros que podrían derivarse de las patentes.
- Este enfoque no es capaz de captar las tendencias de demanda del producto o servicio relacionado con la patente.
- No considera directamente el tiempo o duración de los beneficios económicos relacionados con la protección generada por la patente.
- No relaciona directamente el nivel de riesgo asociado a los beneficios económicos esperados.
- Dificultad para distinguir entre gastos de operación “normal” y gastos de inversión en la patente, Zieger y Scheffer (2005).
- Debido a la naturaleza subjetiva de la estimación de los costos de reemplazo, algunas patentes podrían no ser reemplazables.
- Los ajustes necesarios para reflejar los efectos de la obsolescencia deben ser calculado por separado y son a menudo difíciles de cuantificar.

Dentro de las ventajas del enfoque de los costos Zieger y Scheffer (2005) resaltan los siguientes puntos:

- Las medidas basadas en el costo son objetivas y pueden lograr una consistencia.
- Los datos de costos históricos son confiables.
- Si el costo de adquisición de la patente es reciente, este es un indicador confiable del valor.

En la Tabla 2 se presenta un resumen con las ventajas, desventajas y usos típicos de cada uno de los enfoques mencionados anteriormente.

Tabla 3. Resumen enfoques para la valoración de patentes

Aspectos	Enfoque de los Ingresos	Enfoque del Mercado	Enfoque de los Costos
Ventajas	· Teóricamente superior a otros enfoques, al enfocarse en los ingresos o flujos de caja	· Enfoque práctico, el cual hace uso de los precios actuales pagados por activos comparables.	· Objetivo y consistente.
	· La consistencia se puede lograr facilitar mediante la comparación a través de una cartera de patentes.	· Variedad de los enfoques basados en el mercado tales como compañías comparables, transacciones comparables o un planteamiento de la prima de múltiples precios o ingresos permiten la comparación.	· Confiabilidad de datos históricos de costos.
	· Conceptos ampliamente aceptados y entendibles.		· Si existe el costo de una adquisición de una patente, es un indicador confiable del valor.
Desventajas	· Requiere de la asignación subjetiva de los flujos de efectivo.	· Dada la singularidad de la patente, es poco frecuente contar con transacciones similares para comparar.	· No hay una correlación entre los gastos de un activo y su valor.
	· Pasar de la teoría a la realidad requiere de supuestos que limitan.	· Transacciones que involucran las acciones de las compañías propietarias de las patentes se realizan con mayor frecuencia, pero es difícil la asignación de valor entre los negocios y la patente.	· Dificultad para distinguir entre gastos de operación "normal" y gastos de inversión en patentes.
	· La información relevante no siempre es de fácil acceso desde los sistemas de información interna.		· Naturaleza subjetiva de la estimación de los costos de reemplazo y además de que algunas patentes podrían no ser reemplazables.
Uso Típico	· Es la principal metodología de valoración y la más utilizada, donde puede obtenerse información de calidad apropiada.	· Es un indicador de valor extremadamente importante, si la información de transacciones recientes involucra patentes existentes.	· Sólo es usado en circunstancias limitadas (por ejemplo, cuando el costo de reemplazo puede ser estimado con un grado razonable de confiabilidad y confianza.
	· La naturaleza limitante de los supuestos necesita ser entendida y en donde es posible realizar un análisis de escenarios.	· Sin embargo, en la práctica rara vez es suficiente la información divulgada y esta metodología se utiliza como un control cruzado sobre otros métodos más teóricos.	· El costo es, sin embargo una herramienta de benchmark importante cuando una patente ha sido adquirida recientemente.

Fuente: Zieger y Scheffer (2005)

4.3.4. Otros enfoques y Metodologías Propuestas para Valorar Patentes.

4.3.4.1. Métodos Cualitativos para Valoración de Patentes

Los métodos cualitativos intentan clasificar y darle puntuaciones a las patentes basados en factores tales como la fuerza y amplitud de los derechos de la patente así como su seguridad jurídica. Estos métodos a menudo son utilizados para proponer una administración interna de la patente, debido a su relativa simplicidad en comparación con métodos de valoración cuantitativos. Además, algunos proveedores que ofrecen servicios de valoración y ciertas oficinas de patentes nacionales, tales como la Oficina de Patentes de Japón (JPO)⁹ y la Oficina Danesa de Patentes y Marcas Registradas (DKPTO)¹⁰ proponen modelos de valoración cualitativos en sus países.

Ciertos ejemplos de métodos de valoración cualitativos desarrollados en el sector privado incluyen por ejemplo una herramienta de valoración llamada “PRISM” creada por QED Propiedad Intelectual. Esta herramienta clasifica las patentes en cuatro modelos administrativos básicos llamados: i) monopolio (patentes para explotación interna con un alto valor); ii) defensiva (explotación interna, bajo valor); iii) licencia (explotación externa, alto valor); iv) joint venture (explotación externa, bajo valor). La clasificación es determinada por un cuestionario de selección múltiple que investiga acerca de la cobertura de la patente, defendibilidad, rentabilidad, crecimiento de los ingresos, atributos de las patentes, adopción por parte de la industria, competitividad y capacidad de las personas dentro de las compañías (IPA, 2004). Otro ejemplo es la herramienta de valoración desarrollada por Nihon IR basado en el método de valoración construido por la JPO (JIII, 2003)¹¹.

En el año 2000, la JPO emitió el estudio de “Índices de Valoración de Patentes para la Transferencia de Tecnología”, una herramienta de evaluación inicial para medir el potencial de transferencia de tecnología de las patentes de una gran cartera. El modelo proporciona una evaluación de los siguientes tres aspectos específicos de la propiedad industrial (derechos, transferibilidad y potencial de negocio), así como una evaluación integral que pondera estos factores de acuerdo con el propósito de la evaluación.

- Evaluación de los derechos: Estado de la solicitud de patente, tiempo restante de los derechos, características de la invención (tecnología básica, mejoría, etc.), fortaleza de los derechos, posibilidad de disputar con terceros, superioridad tecnológica comparada con tecnología substituta, nivel de realización tecnológica de la invención (producto, prototipo, idea, etc.)
- Evaluación de transferibilidad: Necesidad de desarrollo adicional para la comercialización, soporte técnico en el momento de la transferencia tecnológica, condición de la licencia de

⁹ Japan Patent Office.

¹⁰ Danish Patent and Trademark Office.

¹¹ Japan Institute of Invention and Innovation

restricciones, obligación o cooperación del poseedor de la patente en respuesta a la infracción de la patente, etc.

- Evaluación del potencial del negocio: Impedimento (Aprobación de la autoridad relacionada, etc.), contribución de la patente a los negocios, probabilidad de que emerja una tecnología de reemplazo, tamaño del negocio, etc.

Una revisión de la herramienta anterior indica que si bien los tres aspectos específicos relacionados con el comportamiento real de concesión de licencias son importantes, sólo el que corresponde a la evaluación del potencial de negocio es estadísticamente significativo JIII (2004).

5. VALORACIÓN DE PATENTES MEDIANTE OPCIONES REALES

5.1. TEORÍA DE OPCIONES

La teoría de opciones fue desarrollada inicialmente para valorar el precio de opciones financieras, es decir aquellas opciones cuyo activo subyacente (definición que será explicada más adelante) es un activo financiero como por ejemplo, una acción, un índice bursátil, una obligación, una divisa, entre otros.

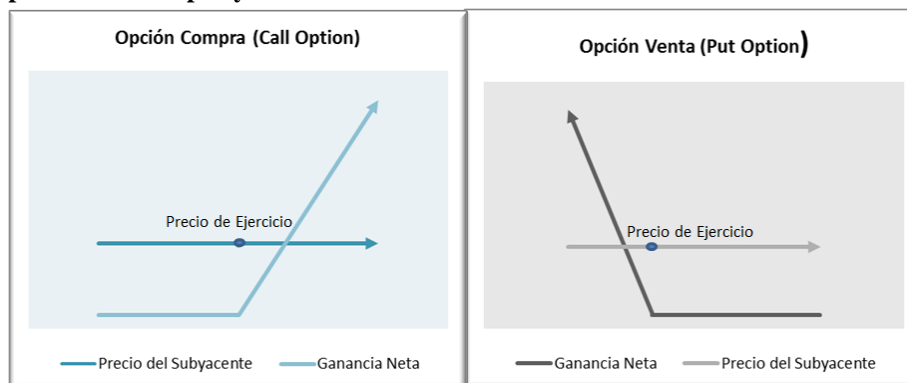
Pitkethly (1997) explica la definición del termino opción como un derecho mas no una obligación que puede ser ejercido antes de un tiempo especificado, con el fin de comprar o vender un activo subyacente, cuyo precio está sujeto a alguna forma de variación aleatoria. Un activo subyacente puede ser la acción de una compañía cuyo precio varía a lo largo del tiempo realizando un recorrido aleatorio (usualmente se asume como un movimiento Browniano del tipo de Procesos de Markov¹²).

Las opciones pueden ser de compra (Call) o también pueden ser opciones de venta (Put). Estas opciones se comercializan de diversas maneras, así es posible vender una opción de compra que da al comprador el derecho mas no la obligación de comprar un determinado activo subyacente a un precio fijado previamente antes de un tiempo determinado también establecido al inicio, el vendedor de esta opción tiene la obligación de vender el activo en cuestión de acuerdo a lo pre acordado con el comprador de la opción. De la misma manera una opción de venta da al comprador el derecho de vender un determinado activo subyacente a un precio determinado en un plazo de tiempo establecido inicialmente, esto significa que si el comprador de la opción de venta ejerce esta, la contraparte debe aceptar, comprando el activo subyacente que está siendo comercializado de acuerdo a lo que se acordó inicialmente.

En la Figura 3 se muestra el ingreso que se puede llegar a tener dado un precio de ejercicio y una evolución en el precio del activo subyacente. En una opción de compra, cuando el precio del activo subyacente supera el precio de ejercicio se dice que la opción se encuentra “in the money”, es decir que si la opción se ejerciera en un determinado instante en que esto ocurre, proporcionaría una ganancia para el comprador de la misma. Por el contrario si la opción se ejerciera en un determinado momento en donde el precio del activo subyacente es menor que precio de ejercicio, se presentaría una pérdida, de esta forma se diría que la opción se encuentra “Out the money”. Lo último que se puede llegar a presentar es que el precio de ejercicio sea igual o muy parecido al precio del activo subyacente, en este caso se diría que la opción se encuentra “at the money”. Para las opciones de venta ocurre lo contrario a las opciones de compra (Figura 2).

¹² Un proceso de Markov significa que la distribución de probabilidad de todos los valores futuros del proceso depende únicamente de su valor actual, no siendo afectada por sus valores pasados, ni por ninguna otra información actual. Por tanto, el valor actual del proceso es la única información necesaria para realizar la estimación de su valor futuro.

Figura 2. Opciones de Compra y de Venta



Fuente: Damodarán (2008)

Las opciones pueden ser clasificadas de acuerdo a la forma como se ejercen, así:

- La opción recibe el nombre de europea si sólo se puede ejercer en la fecha de vencimiento.
- La opción recibe el nombre de americana si puede ser ejercida en cualquier momento hasta la fecha de vencimiento.
- Puede recibir el nombre de bermuda, si puede ser ejercida sólo durante algunos instantes predeterminados a lo largo de su vida.

De acuerdo a Mascareñas (2005), en la teoría de opciones aquel activo sobre el que se extiende el derecho se denomina activo subyacente. El precio de compra (o de venta) que da derecho a adquirirlo (o a venderlo) durante el periodo en el que la opción está vigente se denomina precio de ejercicio (strike price, en inglés).

A la fecha en la que termina el derecho de opción se le denomina fecha de vencimiento (expiration date, en inglés) y por último como una opción es un derecho y no una obligación tiene un coste al que se le denomina prima (premium, en inglés).

La teoría de opciones toma un punto de vista más estratégico para las valoraciones de diferentes tipos de activos ya que no solo permite realizar valoraciones, sino que también proporciona información importante para los procesos de toma de decisiones, permitiendo buscar la maximización de ganancias o la minimización de pérdidas.

5.2. PATENTES Y PROYECTOS DE I+D+i COMO OPCIONES REALES

Los modelos de decisión estudiados en ingeniería económica se centran en el análisis de flujos de caja y la determinación de criterios como el Valor Presente Neto (VPN), la Tasa Interna de Retorno (TIR), la Tasa Interna de Retorno Modificada (TIRM), por mencionar algunos, pero al parecer estos criterios no son suficientes al momento de evaluar inversiones en sistemas de información, programas de calidad, programas de mejoramiento continuo, programas de I+D+i, alianzas estratégicas, join ventures, propiedad intelectual, etc., Manotas y Manyoma (2001). La razón por la cual algunos proyectos de inversión no es posible valorarlos de forma apropiada mediante los

modelos mencionados anteriormente se debe a las características de este tipo de proyectos, por un lado poseen altos niveles de incertidumbre y flexibilidad, aspectos que no son tenidos en cuenta de manera apropiada en las metodologías de valoración tradicionales. A partir de la complejidad e incertidumbre de los proyectos de inversión que se manejan en la actualidad, Stewart Myers¹³ denominó como Teoría de Opciones Reales a aquella teoría de opciones en donde el activo subyacente ya no es del tipo financiero sino real, como por ejemplo un inmueble, un flujo de ingresos generados por un proyecto de inversión, una empresa, una patente, entre otros.

Los proyectos de I+D+i que involucran patentes poseen las características apropiadas para la aplicación de la teoría de OR, estos proyectos se identifican por la incertidumbre en cada una de las etapas de desarrollo del proyecto, al mismo tiempo que proporciona a los encargados de la toma de decisiones la posibilidad de efectuar acciones que tienen como finalidad buscar los mejores resultados en la ejecución de este. Dentro de este tipo de proyectos, cada fase proporciona el derecho, más no la obligación de continuar con las fases siguientes. De esta forma, tras cada fase de la investigación puede decidirse continuar o finalizar, en función de las expectativas futuras acerca del valor del proyecto. Todo proyecto de I+D+i implica un proceso de aprendizaje tecnológico, que lleva asociado opciones de crecimiento que pueden permitir, en un futuro, acometer otras inversiones. En otras palabras, aunque la investigación principal no tenga éxito, se han conseguido unos conocimientos que abren la puerta a futuras inversiones, Pajares et al (2002).

Otro aspecto a resaltar de los proyectos de I+D+i, es que generalmente a partir de estos se genera el conocimiento que puede ser protegido a través de patentes, la relación entre los procesos investigativos y las patentes es habitualmente estrecha. Empezando desde el proceso de solicitud de patentes, es posible identificar diferentes tipos de opciones (las cuales se explicarán más adelante) que hacen que estos activos intangibles proporcionen un valor adicional a la tecnología o proyecto subyacente.

5.3. BENEFICIOS DE EMPLEAR EL ENFOQUE DE OPCIONES REALES

Se ha visto a lo largo de la investigación, los diferentes enfoques y metodologías existentes para la valoración de proyectos de inversión que involucran patentes, proyectos de I+D+i en general. Cada uno de estos enfoques presenta sus virtudes y desventajas, sin embargo parecen no ajustarse lo suficiente a proyectos de inversión que involucran altos niveles de incertidumbre y complejidad.

La teoría de opciones aparece como una alternativa para la valoración de proyectos de inversión que se caracterizan por poseer altos niveles de incertidumbre así como la flexibilidad para decidir y buscar mayores beneficios para el proyecto.

Mascareñas (2005) señala la teoría de OR como una filosofía ya que une el campo de la estrategia y las finanzas corporativas, los componentes de esta filosofía son:

- Los derechos contingentes. La opción real le permite actuar en una u otra dirección dependiendo de cómo varíen las circunstancias que rodean al activo subyacente.

¹³ Stewart Myers presentó el término de Opciones Reales en su artículo “Finance Theory and Financial Strategy” en 1984.

- La valoración de las OR se alinea con la del mercado financiero. Los conceptos y los datos del mercado financiero son utilizados para obtener el valor de los activos reales que generan complejos flujos de caja. Cuando esto no es posible el valor de las opciones estratégicas es obtenido a través de otras metodologías de valoración.
- Diseño y gestión de inversiones estratégicas. El proceso se descompone en las siguientes fases: la identificación y la valoración de las OR en los proyectos de inversión de tipo estratégico; el rediseño del proyecto para aumentar el valor de las opciones; y la gestión del proyecto a través de las OR creadas.

Como se observa, entre las ventajas de la utilización del enfoque de OR se tiene el alto grado de complementariedad con otros tipos de enfoques de valoración al tener en cuenta aspectos del mercado, de los ingresos y los mismos costos en los que se incurre para llevar a cabo el proyecto, adicionando la perspectiva estratégica desde la utilización de opciones que permiten la maximización del valor del proyecto a través de procesos de toma de decisiones.

5.4.DIFICULTADES AL EMPLEAR EL ENFOQUE DE OPCIONES REALES

El enfoque de OR puede en ocasiones presentar dificultades por la cantidad de información que se requiere para efectuar las valoraciones. Hartmann y Hassan (2006) efectuaron un estudio de la utilización del enfoque de OR, en donde encontraron que solo entre el 30 y 35% de las empresas encuestadas tenían conocimiento acerca del enfoque de OR para la valoración, entre las razones que hallaron se tienen la complejidad del enfoque, el cual era visto como una caja negra por parte de algunas organizaciones.

De manera puntual algunas desventajas relacionadas con el enfoque de OR son:

- En situaciones donde no exista tiempo para retrasar las inversiones o se requiere tomar decisiones de forma apresurada, el enfoque de OR pierde fuerza debido a que se disminuye la flexibilidad que tienen los encargados para tomar decisiones, que es lo que finalmente se refleja en un valor adicional al valorar mediante OR.
- De la misma manera en proyectos de inversión donde los niveles de incertidumbre son bajos, ya sea por la existencia de pocos actores principales, los cuales manejan el mercado a manera de monopolio o por la exclusividad del negocio, no es necesario emplear el enfoque de OR, ya que lo que agrega valor y la posibilidad de obtener mayores beneficios a través de la flexibilidad en la toma de decisiones, es la incertidumbre asociada.

Los dos puntos mencionados anteriormente, son los principales aspectos que hacen que en ciertas ocasiones la teoría de OR no sea lo suficientemente apropiada para valorar determinados proyectos de inversión y es mejor recurrir a las metodologías tradicionales de valoración.

5.5. CARACTERÍSTICAS DE LOS PROYECTOS DE INVERSIÓN QUE INVOLUCRAN OPCIONES REALES

De manera más clara Pabón (2007) resalta tres aspectos los cuales se presentan en el ambiente de los negocios de la actualidad, estos son:

- Irreversibilidad
- Incertidumbre
- Grado de libertad gerencial

Irreversibilidad: Una de las características que presenta la teoría de OR hace referencia a que las inversiones son irreversibles, Dixit y Pindyck (1995) indicaron que si una compañía no realiza una determinada inversión ahora, podría perder la oportunidad de hacerlo en el futuro. Explicado de otra forma Pabón (2007), menciona que cuando se llevan a cabo proyectos de inversión de gran tamaño y el retorno obtenido del proyecto no es el esperado, no existe la posibilidad de dar marcha atrás sin perder gran parte de los costos incurridos. Esto supone la necesidad de tomar medidas que permitan dar pasos seguros y analizar el momento adecuado para invertir.

Incertidumbre: En la actualidad los proyectos de inversión se caracterizan por el alto grado de incertidumbre así como por su complejidad y la posibilidad de disipar dicha incertidumbre de acuerdo a la disponibilidad de nueva información tal como lo asegura Copeland (1998). Esta incertidumbre puede ser explicada como el desconocimiento de los eventos futuros que pueden llegar a afectar el desarrollo normal de un determinado proyecto de inversión, los cuales pueden incluso ser beneficiosos o generar efectos negativos para la consecución del objetivo del proyecto. Ante esta incertidumbre, el lado negativo, como lo explica Pabón (2007) es posible identificarlo como el riesgo o la cara negativa que se tiene ante la incertidumbre.

En la teoría de OR contrario al tradicional enfoque de FCD, la incertidumbre representa una oportunidad valiosa que tienen los encargados de la toma de decisiones de inferir en el desarrollo del proyecto con el fin de obtener un mejor desempeño de este, en otras palabras, a través de las OR la incertidumbre crea valor. Generalmente cuando se habla de este enfoque, se habla de dos tipos de incertidumbre; una es la incertidumbre técnica y la otra la económica. La incertidumbre técnica hace referencia al riesgo propio de la empresa o de la entidad que lleva a cabo el proceso de inversión, siendo una variable endógena que puede ser modificada. La incertidumbre económica se relaciona con los movimientos de la economía, esta es de carácter exógeno y no puede ser modificada en una valoración. Este tipo de incertidumbre incrementa el valor de la opción de esperar para invertir, ya que ante esas condiciones si se invierte se corre el riesgo de tener importantes pérdidas o grandes ganancias, Pabón (2007).

Grado de libertad gerencial: Pabón (2007) señala el grado de libertad gerencial como la posibilidad de responder a las diferentes OR que contienen los proyectos, a mayor cantidad, mayor valor de los mismos. Permite tomar decisiones en el futuro logrando con esto limitar las pérdidas y abriendo la posibilidad de obtener ganancias ilimitadas, con opciones la incertidumbre juega a favor de la empresa.

5.5.1. Irreversibilidad, incertidumbre y grado de libertad gerencial en patentes y proyectos de I+D+i

La irreversibilidad, incertidumbre y grado de libertad gerencial se encuentran en aquellos procesos que involucran patentes para proteger el proyecto de I+D+i. La irreversibilidad se aprecia al momento de las inversiones necesarias para llevar a cabo el proyecto en cada una de sus fases, regularmente este tipo de proyectos requieren de grandes desembolsos de dinero en cada etapa para poder acceder a la siguiente y una vez que se realizan estos desembolsos no es posible retractarse.

5.5.1.1. Incertidumbre en patentes y proyectos de I+D+i

La incertidumbre asociada a este tipo de proyectos de inversión ha sido uno de los temas ampliamente estudiados a lo largo de los últimos años. Huchzermeier y Loch (2001) señalan 5 tipos diferentes de fluctuaciones asociados a la variabilidad operacional de proyectos de I+D+i, estos son: la variabilidad en pagos del mercado, variabilidad en el presupuesto, variabilidad en el rendimiento, variabilidad en los requerimientos del mercado y variabilidad en la programación.

A partir de la investigación realizada por Schwartz (2004) se señalan la incertidumbre asociada a los costos de inversión, los flujos de caja e incluso a la posible presencia de eventos catastróficos, con base en las investigaciones de Schwartz se han desarrollado más estudios como los de Ruiz (2006), Hsu y Schwartz (2008), Ernts et al (2010), Cassimon (2011) entre otros, en donde también se tienen en cuenta estas fuentes de incertidumbre.

Tomando como punto de referencia el estudio realizado por Schwartz y demás autores mencionados, se comenzarán a estructurar los aspectos relacionados con la incertidumbre en proyectos que involucran I+D+i y patentes. En la mayoría de estos estudios, se emplea un marco que toma como base la teoría de ecuaciones diferenciales para resolver las valoraciones en cuestión, a pesar de ello en la presente investigación será tomada en cuenta esta perspectiva únicamente para la explicación de la teoría de OR en la valoración de patentes y proyectos de I+D+i.

En este tipo de proyectos como ya se mencionó, el tiempo de terminación del proyecto así como la duración de los flujos de caja generados por el producto o proceso protegido por la patente son variables que presentan un comportamiento aleatorio. Por otro lado, Schwartz (2004) propone asumir durante el periodo en que se realizan las inversiones de un determinado proyecto, emplear una probabilidad de falla por unidad de tiempo λ que sigue una distribución de Poisson, esta probabilidad de falla es lo que el autor reconoce como la probabilidad de eventos catastróficos.

Incetidumbre de los costos de inversión

Schwartz (2004) presenta en su modelo de valoración la incertidumbre de los costos de inversión necesarios para completar el proyecto de I+D+i mediante la Ecuación (5.1):

$$dK = -Idt + \sigma(IK)^{1/2}dz \quad (5.1)$$

En donde dz es un incremento para un proceso de Gauss Wiener¹⁴ que está correlacionado con un portafolio de mercado. El primer término es el control del proceso de difusión, mientras el segundo término corresponde a la incertidumbre técnica, lo cual se relaciona con la dificultad física de completar el proyecto y que por lo tanto sólo puede ser resuelta mediante la inversión en el proyecto.

Ruiz (2006) señala que en algunos problemas de inversión resultan más inciertos los costes de inversión que los retornos. Esta incertidumbre puede tener dos orígenes:

- Técnica: Se refiere a la dificultad física de completar el proyecto, es decir, asumiendo conocidos los precios de los inputs, ¿cuánto tiempo, esfuerzo, materiales, etc... Se requiere para completar el proyecto? Esta incertidumbre sólo se despeja a medida que se ejecuta el proyecto.
- De costo de los inputs: Se debe a factores externos no controlables por la compañía (cambios en los precios, marco regulatorio, entre otros) y es mayor cuanto más alejado sea el horizonte temporal.

Incertidumbre de los flujos de caja generados por el proyecto

Los flujos de caja anuales representan los ingresos generados por el producto o proceso patentado, los cuales son recibidos por el propietario del activo intangible una vez haya culminado la inversión necesaria.

Al igual que con los costos de inversión, la incertidumbre de los flujos de caja ha sido modelada en diversos estudios como un movimiento browniano, Schwartz (2003), Ruiz (2006), Pabón (2007) Hsu y Schwartz (2008), Ernts et al (2010) emplearon este tipo de movimiento para describir los ingresos recibidos. Mediante la Ecuación (5.2) se tiene que:

$$dC = \alpha C dt + \phi C dw \quad (5.2)$$

Schwartz y algunos autores buscan representar el comportamiento de los flujos de caja del proyecto de inversión en donde correlacionan los retornos del portafolio de mercado con la incertidumbre de los costos esperados.

Incertidumbre ante la posible aparición de eventos catastróficos

Otro aspecto determinante en este tipo de proyectos de inversión es lo que Schwartz y Moon (2000) mencionaron como eventos catastróficos, esto hace referencia a la posibilidad de que ocurra un evento que pueda afectar el desarrollo del proyecto así como la obtención de los beneficios que este produce y que podría ocasionar el abandono del mismo. Entre los posibles eventos que entran a considerarse como eventos catastróficos, se tienen la aparición de un producto o proceso que sea mejor, el embargo de la firma que esté a cargo del proyecto, para el caso de drogas o medicamentos

¹⁴ Es un tipo de proceso estocástico Markov, el cual se ha usado en física para describir el movimiento browniano de una partícula que está sujeta a un gran número de pequeños “shocks” moleculares.

se tiene la aparición de efectos secundarios negativos sobre la salud de los consumidores, entre otros. Estos eventos han sido modelados por medio de procesos de Poisson por diferentes autores como Schwartz (2004), Pabón (2007), Hsu y Schwartz (2008), Ernts et al (2010).

5.5.1.2. Toma de decisiones relacionada con Patentes generadas a partir de proyectos de I+D+i

Por el lado del proceso de toma de decisiones, es claro que los gerentes, directores o encargados de los proyectos tratarán de tomar acciones frente a la situación en la que se encuentre el proyecto, con el fin de maximizar el desempeño de este y alcanzar los objetivos. Debido a que el objetivo del presente estudio es valorar patentes ya adjudicadas, la toma de decisiones será responsabilidad directa de la empresa que desee explotar la patente ya sea porque le pertenece o porque tiene licencia para hacerlo, y la cual obtendrá un beneficio directo por la comercialización o utilización del producto o proceso patentado.

5.5.2. Tipos de Opciones Reales relacionadas con patentes y proyectos de I+D+i

Existen diversos tipos de OR aplicables a negocios del sector real, estas a su vez permiten formar otras opciones al ser posible la combinación entre algunas de ellas. De acuerdo a Mascareñas (2005), las OR pueden ser divididas en tres grupos como lo son:

- Diferir/Aprender
- Inversión/crecimiento
- Desinvertir/Reducir

Aunque estas opciones aparezcan clasificadas como diferentes, es posible que puedan relacionarse entre sí y generar lo que se conoce como opciones compuestas.

5.5.2.1. Opciones de Diferir/Aprender

Opción de diferir (option to defer). Esta opción proporciona al propietario de la misma el derecho a posponer su realización durante un plazo de tiempo determinado, procurando esperar a tener mejor información sobre el proyecto y de cómo actuar ante las circunstancias. De acuerdo a Rey y Agudelo (2008), esta opción será más valiosa en tanto se tengan derechos de exclusividad para invertir, e irá perdiendo valor conforme las barreras de entrada desaparezcan. En este punto toma importancia la existencia de patentes en una organización como entre las posibles barreras que permiten a la empresa tener cierta exclusividad para comercializar o producir determinado producto o proceso según sea el caso.

El objetivo de esta opción es reducir la incertidumbre sobre el comportamiento del valor del activo subyacente en un futuro próximo, de tal forma que se valorará la posibilidad de realizar el proyecto en la fecha de vencimiento de la opción o, por el contrario, la de abandonarlo definitivamente. Este tipo de opción real es similar a una opción de compra sobre el valor actual de

los flujos de caja esperados del proyecto (VA) y cuyo precio de ejercicio es el costo de realizar el proyecto en la fecha de vencimiento de la opción.

La mayoría de las opciones de diferir un proyecto son de tipo americano e incorporan costos de retraso, por lo que la decisión de hasta cuándo se puede retrasar el proyecto vendrá dada por la contraposición entre los costos y los beneficios de hacerlo. La decisión sobre si ejercer o no la opción deberá posponerse hasta que el valor temporal sea nulo. En otras palabras, en el momento en que los directores o gerentes de una determinada organización deciden retrasar las inversiones que permitirían obtener un determinado flujo de dinero, estarán incurriendo en costo de oportunidad por no recibir los beneficios derivados de dicho proyecto, igualmente perderá la protección ante las acciones que realicen la competencia durante el tiempo que se decida diferir.

La opción de diferir cuando se habla de proyectos de inversión que involucran patentes, se puede vislumbrar al momento de poseer el derecho de la patente sobre determinados territorios o países. Es decir, los poseedores de la patente pueden tener el derecho de realizar determinada inversión o de tomar la decisión de licenciar la tecnología en un determinado territorio durante el tiempo en que fue concedida la patente (recordando que habitualmente es de 20 años), sin embargo en caso de que se prefiera diferir realizar cualquiera de estas maniobras, ya sea por esperar a conocer mejor el comportamiento del mercado o de ciertas variables exógenas que lo puedan afectar, se incurre también en costos de oportunidad por no recibir los beneficios derivados en caso de haber tomado alguna de estas decisiones en un principio, además de quedar expuesto ante las acciones que la competencia pudiera realizar.

Regularmente este tipo de opción es de poco valor en proyectos de I+D+i, debido a que durante este tipo de procesos justamente lo que se espera es la reducción de la incertidumbre tecnológica mediante las inversiones en investigación.

Opción de aprendizaje (learning option). Esta opción proporciona al propietario la posibilidad de obtener información a cambio de un coste determinado. Este tipo de opciones surgen cuando una empresa se encuentra ante la posibilidad de invertir dinero con objeto de acelerar la adquisición de conocimiento o información (reducir el desfase tecnológico en I+D+i o averiguar la cantidad de mineral disponible en una explotación, por ejemplo) y utilizar lo que ha aprendido con objeto de calcular mejor la demanda de su producto y, por tanto, rectificar o confirmar sus expectativas acerca de los flujos de caja previstos.

En este tipo de opciones se debe tener en cuenta el costo de adquisición de la nueva información, la cual permitirá clarificar diferentes aspectos para el proceso de toma de decisiones.

Pabón (2007) define este tipo de opciones como aquella que agrega valor a las empresas que afrontan mucha incertidumbre técnica, lo cual significa que es un riesgo propio. Esta opción agrega valor a un proyecto y provoca generalmente su iniciación.

Mascareñas (2005) divide las opciones de aprendizaje en dos tipos diferentes:

- Por un lado las que proporcionan una predicción más fidedigna del verdadero valor futuro del activo (investigación inicial del mercado, por ejemplo).
- Las que cambian el valor actual del activo alterando la probabilidad de éxito (realización de experimentos con objeto de mejorar la exactitud de las probabilidades de los diversos escenarios).

El valor de aprender mediante la reducción de la incertidumbre depende de dos variables clave:

- La exactitud de la información que es recibida a través del aprendizaje con relación a los costes de obtenerla.
- El impacto del aprendizaje en la toma de decisiones.

Aunque en términos más genéricos, el valor de la opción de aprender es función del precio de ejercicio (que es el costo de aprender), el nivel de certidumbre que se crea con el aprendizaje, y de cómo esto se traduce en una mejora en la toma de decisiones para crear valor.

La opción de aprendizaje se relaciona directamente con proyectos de I+D+i y patentes. Este tipo de proyectos suelen contener una serie de opciones de aprendizaje implícitas basadas en la incertidumbre sobre la tecnología y el comportamiento del mercado. En proyectos que involucran patentes, en ocasiones las opciones de aprendizaje se presentan cuando se requiere conocer con certeza el tamaño de mercado para un determinado producto. Estas opciones también aparecen cuando se busca reducir la incertidumbre sobre la tecnología, en estos casos se realizan pruebas o se establecen programas y plantas piloto con el objeto de aprender acerca del funcionamiento del producto o proceso bajo diferentes circunstancias.

5.5.2.2. Opciones de Inversión/ Crecimiento

La opción de ampliar (scale up option). Un proyecto de inversión proporciona a su propietario el derecho a adquirir una parte adicional del mismo a cambio de un coste adicional.

Estas opciones crean infraestructura y oportunidades para una expansión posterior y, por ello, son un valor estratégico. Son opciones secuenciales que enlazan distintas fases de crecimiento y expansión al mismo tiempo que preservan la flexibilidad directiva para acometer la fase siguiente dependiendo de las condiciones imperantes del mercado. Incluso si el proyecto piloto resulta ser un fracaso, la empresa ganará experiencia y comprensión lo que puede ser útil para valorar o planificar otras opciones de crecimiento futuras que se puedan plantear.

Estas opciones como ya se mencionó, toman importancia sobre todo cuando existen proyectos de inversión que permiten subdividir la inversión requerida en múltiples inversiones, permitiendo realizar una determinada inversión sólo si los resultados de las inversiones realizadas en cada una de las etapas previas resultaron ser favorables.

Las variables clave de este tipo de opción son:

El valor del activo subyacente es el valor actual de los flujos de caja que genera el proyecto adicional.

- La variación del valor del activo subyacente proporciona el valor de la varianza. Ésta puede obtenerse mediante una simulación o mediante la varianza de negocios similares públicamente negociados.
- El precio de ejercicio es el desembolso inicial en el que se incurre para desarrollar el proyecto adicional.
- El período de tiempo de tiempo del que se dispone para ejercer la opción es su vida. Suele venir dado por el propio equipo directivo que se plantea la decisión de ampliar o crecer y, a su vez, depende de una serie de circunstancias como la competencia, la situación económica, etc.

Hay un costo de oportunidad por esperar a ejercer la opción de ampliar una vez que ésta es viable; dicho costo puede ser los flujos de caja que se pierden mientras no se ejerce la opción o un costo impuesto por la empresa mientras ésta no se decida (comisiones, permisos o autorizaciones, etc.).

Ante este tipo de opciones Mascareñas (2005) señala que estas opciones son más valiosas, por lo general para las empresas con mayor riesgo económico y que generan un mayor rendimiento con sus proyectos (tecnológicas, software, etc.) que para las que son mucho más estables (automoción). Este autor señala además tres casos en donde emplear OR para la valoración resulta ser más apropiado:

Adquisiciones de tipo estratégico. Cuando una empresa considera que realizar una determinada inversión le permitirá obtener alguna ventaja competitiva. Como ejemplo se tienen la entrada a un mercado de rápido crecimiento o de gran tamaño, la compra de conocimiento tecnológico, y la adquisición de una marca reconocida.

Investigación y Desarrollo. El dinero invertido en I+D+i representa el costo de la opción de compra y los productos que surjan de la misma representan los flujos de caja de la opción. Es necesario tener en cuenta que la relación entre el valor de la investigación y la cantidad óptima a invertir irá variando conforme el negocio madure.

Proyectos multietapa. En este tipo de proyectos reduce el potencial de crecimiento de la empresa a cambio de protegerla del riesgo de caída, permitiendo a cada etapa juzgar la demanda y decidir si se pasa a la siguiente o se abandona.

Cuando una empresa posee una patente, sobre todo cuando se trata de patentes de productos, esta puede decidir realizar crecimientos paulatinos de acuerdo a las circunstancias que se vayan presentando en el entorno. Un ejemplo de ello, se puede presentar cuando los encargados de la toma de decisiones, tengan la oportunidad de incursionar en un nuevo mercado al solicitar la adjudicación de la patente en un país en el cual anteriormente no tenían esta protección. Al ejecutar esta acción, la empresa tendrá la oportunidad de competir en un mercado diferente y podrá obtener los beneficios generados por ser el propietario o tener la licencia de la patente en este territorio.

Opción de ampliación del alcance (scope up option). Esta opción permite apalancar un proyecto realizado en un sector determinado para que pueda ser utilizado además en otro sector relacionado. En relación a las patentes, este tipo de opción es aplicable principalmente en casos en donde se presentan patentes relacionadas con procesos o patentes que involucran medicamentos, ya que en un principio la patente pudo haber sido desarrollada para un propósito en especial pero al momento de realizar pruebas y durante el desarrollo de ésta como tal, es posible que aparezcan otros usos o aplicaciones. Una empresa puede decidir aumentar el alcance de una patente que presente diferentes posibilidades de uso y de esta manera abarcar otros sectores o mercados lo que se traducirá en mayores ingresos derivados de la patente.

En este punto es importante también tener en cuenta las reivindicaciones que se incluyen en una patente, como ya se mencionó anteriormente, las reivindicaciones establecen el alcance de la patente, así una patente puede ser aplicada para determinado sector pero es posible abarcar un mayor alcance si dentro de las reivindicaciones se tiene contemplado esto.

5.5.2.3. Opciones de Desinvertir/ Reducir

Opción de reducción del alcance (scope down option). Esta opción permite reducir e incluso abandonar, el alcance de las operaciones en un sector relacionado cuando el potencial del negocio se reduce o desaparece.

Opción de Abandono. La opción de abandono (option to abandon) proporciona a su propietario la posibilidad de vender, liquidar o abandonar un proyecto determinado. Para el caso de proyectos de I+D+i y patentes, este tipo de opción presenta gran importancia.

Mascareñas (2005), indica que esta opción proporciona a su propietario el derecho a vender, liquidar, cerrar (abandonar) un proyecto determinado a cambio de un precio.

Pabón (2007) presenta la importancia de este tipo de opción en proyectos de I+D+i, ya que si el valor presente de los futuros flujos de caja de proyectos no son suficiente para cubrir el valor presente de la inversión total (actual y futura) se puede tomar la decisión de parar el proyecto y ahorrar los gastos siguientes, dicho de otro forma por Schwartz (2004) esta opción se puede tener en cuenta si los costos de inversión en el proyecto son mayores que los flujos de caja o estos últimos son menores de los mínimos presupuestados.

Este tipo de opciones, aparece en muchos tipos de negocios. Por ejemplo, los capitalistas-riesgo cuando comprometen una determinada cantidad de dinero en una nueva empresa lo suelen hacer por etapas, lo que les permite mantener la opción de abandonar el proyecto en cuanto consideren que su futuro es bastante oscuro. De hecho, la principal razón de racionar el dinero invertido a través de su reparto por etapas es precisamente el mantenimiento de la opción de abandono.

La existencia de este tipo de opciones aumenta el deseo de invertir en un proyecto (lo mismo que una valiosa opción de reinvertir reduce las ganas de abandonar). Por ello la opción de abandono tiene un efecto económico sobre las decisiones y, por lo general, no debe valorarse aisladamente. El valor de una opción de abandono aumenta:

- Cuanto mayor sea la incertidumbre sobre el valor futuro del negocio.
- Cuanto mayor sea la cantidad de tiempo de que se dispone para ejercer dicha opción.
- Cuanto mayor sea la relación entre el valor de abandono del proyecto (su valor de liquidación) respecto de su valor terminal o residual (valor actual de los flujos de caja libres restantes).

Proyectos de inversión que involucran patentes se relacionan estrechamente con la opción de abandono. Este tipo de opción puede ser empleada desde diferentes puntos de vista, por un lado tratarse de una patente de un producto o proceso que requiera aun de ciertas etapas de desarrollo final para poder lograr un objetivo comercial, así que cada una de estas etapas puede poseer de manera implícita la opción de abandonar el proyecto dependiendo del desarrollo del mismo y de las circunstancias del entorno, como lo pueden ser cambios abruptos en los precios de las materias primas, disminución de la participación en el mercado por el ingreso de mayor competencia, políticas y reglamentaciones que pueden afectar el proyecto, entre otros.

Un segundo caso que se puede presentar ocurre al momento de emprender el proyecto de inversión que involucra una patente que protege determinado producto o proceso en una o varias regiones geográficas. Al igual que el caso del ejemplo anterior, de acuerdo a las circunstancias de los mercados, los encargados de la toma de decisiones pueden decidir abandonar la producción o comercialización de un producto o proceso patentado debido a que las condiciones no permiten obtener beneficios superiores a los costos, lo que hace que la explotación de la patente sea inviable para la organización.

La opción de abandono también se contempla al momento de vender la patente mientras esta se encuentra en la etapa de comercialización, de esta manera se renuncia a los flujos de caja que se generaran en el futuro a cambio de un precio de venta, como afirma Pabón (2007), ahorrando gastos y recuperando parte de lo invertido. Un proyecto que puede ser abandonado en cualquier momento posee un mayor valor que uno que no tenga esta posibilidad.

Para el caso de proyectos de I+D+i su valor de salvamento depende de la intensidad, el grado de especialización de los equipos usados en los proyectos y la importancia de los resultados obtenidos durante las etapas ya ejecutadas. Así cuando se tienen patentes que protegen determinado producto o proceso que se encuentra en una etapa final de desarrollo tecnológico para su consolidación comercial, la opción de abandono es equivalente a una opción de venta americana.

5.5.2.4. Opciones Compuestas

Las opciones compuestas son aquellas que surgen cuando al ejercer una se genera otra opción al mismo tiempo que un flujo de caja. En general implican inversiones secuenciales o por etapas. Esto es, la realización de la primera inversión da a la empresa la posibilidad, pero no la obligación, de realizar una segunda inversión que, a su vez, posibilita realizar una tercera, etc.

Este tipo de opciones representan de forma apropiada los proyectos de I+D+i así como aquellos proyectos de inversión que requieren de diversas fases o etapas para su desarrollo, cada una de estas fases o pasos pueden ser vistos como una opción de compra en el valor de la continuación con la explotación, un valor que incluye el valor de todas las opciones futuras, Vedovoto (2010).

Un ejemplo claro de una opción compuesta se evidencia en el campo de la biotecnología. La creación de una nueva droga o compuesto regularmente pueden ser modelados como una serie de opciones, lo que se traduce en un conjunto de opciones compuestas. Cassimon (2004) empleó el enfoque de OR para valorar el proceso de I+D de una nueva droga, en este estudio el autor identificó 6 etapas de dicho proceso antes de llegar a la comercialización, y en donde para poder acceder a cada una de estas se debe haber ejercido la etapa previa.

Pabón (2007) empleó opciones compuestas para modelar un proyecto de inversión hipotético de I+D representado por opciones de inversiones de aprendizaje y opciones de abandono. En este ejemplo se trabajó con cuatro fases, así cuando cada fase se completa y se conoce su resultado se debe decidir si se invierte en la siguiente fase (seguir) o se abandona (parar).

Así como los proyectos de I+D, la explotación y desarrollo comercial de una patente puede contener diferentes etapas o fases, estas etapas pueden estar relacionadas entre sí y determinar la continuación o no del proyecto dependiendo de los resultados obtenidos en cada uno de estas. Se puede apreciar entonces que por medio de OR compuestas es posible representar proyectos de inversión que involucren patentes de una manera muy apropiada.

5.5.3. Costos y gastos a tener en cuenta en la valoración de patentes

Al momento de valorar patentes los costos variaran dependiendo de la perspectiva que se tome al momento de la valoración. En este tipo de valoraciones se deben tener en cuenta generalmente costos de inversión en el proyecto, costos de mantenimiento de la patente y costos operacionales. El nivel de costos puede tener un efecto importante sobre el valor de un proyecto, así como lo menciona Schwartz (2004).

5.5.3.1. Costos de Inversión

Como todo proyecto de inversión es necesario identificar cuáles son los flujos de dinero que representan egresos. Los costos contemplados en esta clasificación corresponden a aquellos necesarios para establecer la infraestructura de la planta o sistema que permite la explotación de la patente involucrada en el proyecto, es decir la maquinaria, propiedades, plantas, equipos, entre otros que permitirán desarrollar y/o producir el proceso o producto relacionado. Pabón (2007) hace referencia a este tipo de costos como las inversiones de capital necesarias para llevar a cabo el proyecto en estudio, el cual se relaciona con la industria farmacéutica, teniendo en cuenta aspectos como las herramientas, equipos de laboratorio, entre otros.

5.5.3.2. Costos de mantenimiento de la patente o licencia de explotación

Los costos de mantenimiento de la patente corresponden a aquellos necesarios para poseer o mantener el derecho de explotar la invención o proceso protegido por la patente. Dependiendo de la perspectiva de la valoración, este costo puede hacer referencia a los costos anuales de mantener la vigencia sobre la patente por parte del dueño de la misma o puede tratarse del caso de la licencia sobre explotación, la cual debe ser pagada al poseedor o dueño de la patente para el caso de organizaciones o empresas que únicamente pretendan explotar la patente bajo ciertas condiciones contractuales establecidas con quien posee el derecho sobre esta.

Las tasas que el titular o solicitante de la patente debe pagar anualmente para mantener la vigencia de la patente se conocen como anualidades. El monto a pagar para cada periodo puede variar, para ello la Superintendencia de Industria y Comercio presenta una resolución de tasas en donde se puede consultar cuanto es el valor a pagar por mantener la vigencia de la patente.

Entre los literales mencionados en la resolución de tasas dispuesta por la Superintendencia se tienen:

- Tasa anual para el mantenimiento de patente de invención del cuarto al octavo año.
- Tasa anual para el mantenimiento de patente de invención del noveno al duodécimo año.
- Tasa anual para el mantenimiento de patente de invención del decimotercero al decimosexto año.
- Tasa anual para el mantenimiento de patente de invención del decimoséptimo al vigésimo año.

Los costos de mantenimiento de patentes varían dependiendo de la oficina de patentes.

5.5.3.3. Costos Operacionales

Los costos operacionales como su nombre lo indica, son aquellos que aparecen al momento de la explotación en condiciones normales de la invención protegida mediante patente, es decir los que involucran la materia prima, los insumos, mano de obra, entre otros.

Boer (1999) expresó que dentro de estos costos también se pueden encontrar los relacionados con la fuerza de ventas, gastos generales y los correspondientes a I+D. Pabón (2007) adiciona las inversiones necesarias para la financiación durante las fases de I+D así como los gastos de mantenimiento de un nuevo producto.

Entre este tipo de costos es necesario tener en cuenta el capital de trabajo Pabón (2007), el capital de trabajo es el dinero necesario para mantener la empresa en funcionamiento, es decir, es una inversión que está representada por la necesidad que tienen la mayoría de las organizaciones de tener inventarios, cartera, colchón de efectivo y crédito de proveedores, Varela (2010).

5.5.3.4. Gastos

Los gastos hacen referencia a todos aquellos egresos o erogaciones necesarias para la distribución y venta de un producto o incluso lo relacionado con la administración. Los gastos relacionados con este tipo de proyectos son los que se tienen en cuenta normalmente cuando se realiza una valoración de inversión, entre estos se tienen los gastos de administración y ventas, la depreciación, amortización, los impuestos, entre otros dependiendo del tipo de proyecto, si es de prestación de servicios o de manufactura.

5.5.4. Variables a tener en cuenta en la Teoría de Opciones Reales

Las opciones financieras y reales son función de las siguientes seis variables, Mascareñas et al (2005):

Precio del Activo Subyacente (S): En la opción financiera indica el precio actual del activo financiero subyacente; mientras que en la opción real indica el valor actual del activo real subyacente, es decir, el valor actual de los flujos de caja que se espera genera dicho activo. En el caso de la opción financiera habitualmente es más fácil conocer el valor del activo financiero subyacente, mientras que en el caso de las OR muchas veces el valor actual del activo real subyacente sólo se conoce de forma aproximada.

Las patentes por ser derechos que proporcionan una protección para la explotación comercial exclusiva de un determinado producto o proceso, permiten generar un importante flujo de caja para el propietario de la patente. Como se indicó anteriormente, el precio del activo subyacente corresponde al valor actual de los flujos de caja que genera el proyecto, en este caso los ingresos derivados del producto o proceso patentado.

El Precio de Ejercicio (X): En la opción financiera indica el precio al que el propietario de la opción puede ejercerla, es decir, el precio que puede pagar para comprar el activo financiero subyacente (call), o el precio que le pagaran por venderlo (put). En la opción real, indica el precio a pagar por hacerse con el activo real subyacente, es decir, con sus flujos de caja (por ejemplo, en un proyecto de inversión, será el desembolso inicial); o el precio al que el propietario del activo subyacente tiene derecho a venderlo, si la opción es de venta. Cuando se habla de una patente, el precio de ejercicio está representado por el precio que se debe pagar para poder acceder al activo subyacente, es decir, aquellos costos o inversiones necesarias para poder efectuar o llevar a cabo el proyecto en cada una de sus fases.

El Tiempo Hasta el Vencimiento (t): Tiempo que dispone su propietario para poder ejercer la opción. El tiempo para el vencimiento de una opción real que involucra patentes dependerá de la etapa en la que se encuentre el desarrollo relacionado y del tipo de opción que sea posible aplicar para dicha patente. Si la patente no requiere etapas de desarrollo posteriores a su adjudicación, se puede pensar que la opción más notable es la opción de abandono del proyecto, es decir licenciar la

patente a un tercero o decidir no explotar más esta, para este caso el tiempo de la opción será el tiempo de vida que le quede a la patente.

Para proyectos de que requieren aún de fases de desarrollo o etapas, el tiempo hasta el vencimiento puede ser el tiempo que dura llevar a cabo todas las fases o el desarrollo de la patente hasta su etapa comercial, ya que es principalmente durante este tiempo que se puede decidir abandonar el proyecto o tomar acciones que beneficien el valor del mismo.

Es importante recordar que en proyectos de índole investigativo como lo son aquellos relacionados con I+D+i proveniente de centros de investigación y universidades, existe cierto grado de incertidumbre respecto a la duración de los proyectos, esto se refleja en el tiempo hasta el vencimiento de las opciones relacionadas, de forma tal que no existe un valor exacto para la duración de cada una de estas opciones y es importante tener en cuenta esta variabilidad en la duración de las diferentes etapas del proyecto de inversión.

Riesgo o Volatilidad (σ): Varianza, o desviación típica, de los rendimientos del activo subyacente. Indica la volatilidad del activo subyacente cuyo precio medio es S pero que puede oscilar en el futuro. Desde el punto de vista de las OR, la volatilidad nos indica cuán equivocadas pueden estar nuestras estimaciones acerca del valor del activo subyacente. Cuanto más incertidumbre exista acerca de su valor mayor será el beneficio que se obtendrá de la captación de información (de aprender, en una palabra) antes de decidimos a realizar, o no, el proyecto de inversión.

Pabón (2007) menciona que la incertidumbre de un proyecto de inversión depende de muchas variables, no sólo del precio y la participación en el mercado, sino también las inversiones de capital, los costes variables, la tasa de interés, la probabilidad de éxito, entre las principales y que por lo tanto pueden influenciar el valor del proyecto, sin embargo dentro de estas variables se deben identificar cuáles de estas son las que más influyen en la volatilidad y cuáles son sus propiedades estocásticas y variabilidad, es aquí donde toma importancia recalcar que al momento de hablar de proyectos de I+D+i los principales generadores de incertidumbre corresponden a factores tecnológicos y de mercado.

La volatilidad que se debe utilizar para el cálculo del valor de la opción es la volatilidad de los retornos del proyecto y no la volatilidad de su valor presente, en razón a que lo que se desea conocer es cómo cambia el activo subyacente a través del tiempo, y como resultado de esto, cómo el administrador del proyecto puede ajustar la financiación del proyecto de acuerdo con estos cambios.

Para el cálculo del valor de la opción, se asume que la tasa de retorno del proyecto sigue el proceso de Ito¹⁵ Ecuación (5.3):

¹⁵ El lema de Ito es un famoso resultado matemático derivado por el matemático japonés K. Ito en 1951. Hablando en términos generales, se puede considerar la regla de cadena del cálculo estocástico. En finanzas, el lema de Ito se utiliza frecuentemente para derivar el proceso estocástico seguido por el precio de un título derivado.

$$\frac{dPV_x}{PV} = \alpha_x dt + \sigma_x dW_x \quad (5.3)$$

α_x : Es la tasa de retorno constante esperada del proyecto.

σ_x : Volatilidad constante de la tasa de retorno.

dW_x : Proceso de Wiener.

Así como en el caso desarrollado por Pabón (2007), en la mayoría de proyectos de I+D+i, incluyendo los que involucran patentes, son la incertidumbre tecnológica y de mercado los aspectos que generan mayor variación. En este estudio se decidió revisar el efecto de estas dos incertidumbres de manera separada. Por consiguiente, la volatilidad de los retornos del proyecto (σ_x) representan su incertidumbre económica o una combinación de la incertidumbre del precio del producto y de la incertidumbre de la participación del mercado. La incertidumbre tecnológica será tenida en cuenta directamente en el cálculo del valor de la opción a través de la multiplicación de los valores del activo subyacente y del precio de ejercicio por sus correspondientes probabilidades de éxito.

La tasa sin riesgo (r_f): Refleja el valor temporal del dinero. De acuerdo a Pabón (2007), hay involucrado un costo de oportunidad en la compra de una opción ya que el comprador paga el precio de una opción de manera anticipada y este costo dependerá del nivel de tasas de interés y del tiempo de expiración de la opción.

Para el valor de la tasa libre de riesgo que representa en retorno esperado sobre un activo que los inversionistas perciben de riesgo mínimo o nulo, se puede tomar como referencia el rendimiento ofrecido sobre bonos emitidos por el Tesoro americano que están respaldados por el gobierno de Estados Unidos.

Los Dividendos (D): dinero líquido generado por el activo subyacente durante el tiempo que el propietario de la opción la posee y no la ejerce. Si la opción es de compra, este dinero lo pierde el propietario de la opción (porque si hablamos de una opción de compra de acciones, mientras esta no se ejerza su propietario no será accionista y, por tanto, no tendrá derecho a los dividendos). En el caso de las OR de compra, es el dinero que genera el activo subyacente (o al que se renuncia) mientras el propietario de aquélla no la ejerza. Cuando se habla de la patente y dependiendo de la perspectiva de valoración, pueden ser los ingresos que se dejan de recibir por explotación directa o pueden ser las regalías que dejaría de recibir la universidad en caso de que se haya licenciado la tecnología subyacente.

Tabla 4. Factores en la Teoría de Opciones Reales.

Opción de Compra Real	Variable	Opción de Compra Financiera
Valor de los activos operativos que se van a adquirir	S	Precio del activo financiero
Desembolsos requeridos para adquirir el activo	X	Precio de ejercicio
Tiempo que se puede demorar la decisión de inversión	t	Tiempo hasta el vencimiento
Riesgo del activo operativo subyacente	σ^2	Varianza de los rendimientos del activo financiero
Valor temporal del dinero	rf	Tasa de Interés sin riesgo
Flujos de caja a los que se renuncia por no ejercerla opción	D	Dividendos del activo subyacente

Fuente: Mascareñas (2005)

5.6. MÉTODOS DE VALORACIÓN CON OPCIONES

Dentro de la teoría de OR existen principalmente tres métodos para realizar la valoración de un determinado activo. Estos son el método binomial, el método de Black-Scholes y la simulación Montecarlo.

5.6.1. Modelo Binomial

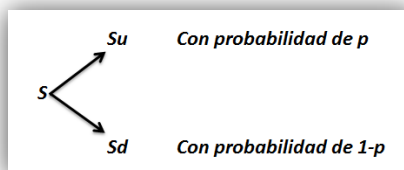
Es un modelo en tiempo discreto propuesto por Cox-Ross-Rubinstein (1979) que considera que la evolución del precio del activo subyacente varía según un proceso binomial multiplicativo; es decir, solo puede tomar dos valores posibles, uno al alza y otro a la baja, con probabilidades asociadas p y $1-p$ como lo aseguran Calle y Tamayo (2009).

Mascareñas (2004) señala que el modelo binomial requiere del cumplimiento de las siguientes hipótesis o supuestos:

- Eficiencia y profundidad de los mercados.
- Ausencia de costos de transacción.
- Es posible comprar y vender en descubierto, sin límite.
- Los activos son perfectamente divisibles.
- Se puede prestar y tomar prestado al mismo tipo de interés.
- Todas las transacciones se pueden realizar de forma simultánea.
- El precio del activo subyacente evoluciona según un proceso binomial multiplicativo.

De acuerdo a la última hipótesis, si S es el precio del activo subyacente en el momento presente, en un periodo la evolución del mismo será:

Figura 3. Evolución del valor del activo subyacente



Fuente: Elaboración propia.

En donde:

u: Representa el movimiento multiplicativo al alza del precio subyacente en un periodo, con una probabilidad asociada p .

d: Representa el movimiento multiplicativo a la baja del precio del activo subyacente en un periodo, con una probabilidad asociada de $(1-p)$.

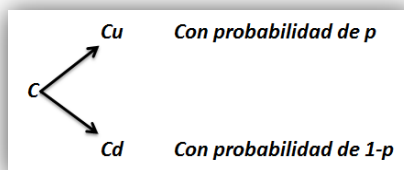
A modo de ejemplo suponiendo que se tiene una opción de compra europea con vencimiento a un periodo y con un precio de ejercicio X . Los valores al vencimiento de la opción serán los establecidos en las Ecuaciones (5.4) y (5.5):

$$C_u = \text{MAX}[0, S_u - X] \quad (5.4)$$

$$C_d = \text{MAX}[0, S_d - X] \quad (5.5)$$

Es decir que la opción de compra evolucionaria del siguiente modo:

Figura 4. Evolución del valor de la opción incluyendo la opción de compra



Fuente: Elaboración propia.

Para efectuar esta valoración de la opción se pueden tomar dos caminos

En el primero de ellos, se calculan los valores intrínsecos de la opción al final de los n periodos, y por un procedimiento recursivo (retrocediendo en el tiempo) se calcula el valor de la opción en cada nudo del diagrama o “árbol” Calle y Tamayo (2009), mediante la Ecuación (5.6):

$$C_{t-1} = \frac{1}{\hat{r}} [p \times C_{tu} + (1 - p)C_{td}] \quad (5.6)$$

Donde

p = probabilidad de tener un incremento u .

$\hat{r} = (1 + r_f)$, siendo r_f la rentabilidad del activo libre de riesgo,¹⁶

C_{t-1} = Valor de la opción en un nodo de $t - 1$.

C_{tu} = Valor de la opción en t , cuando el precio del subyacente se multiplica por u de $t - 1$ a t .

C_{td} = Valor de la opción en t , cuando el precio del subyacente se multiplica por d de $t - 1$ a t .

Y en donde p se calcula a través de la Ecuación (5.7):

$$p = \frac{\hat{r} - d}{u - d} \quad (5.7)$$

El cálculo se inicia en n , último periodo asumido para la valoración. A partir de los valores intrínsecos en n , se calculan los valores C_{n-1} y retrocediendo en el tiempo, se calculan los C_{n-2} , C_{n-3} , etcétera, hasta C , el valor de la opción en el momento actual.

Los parámetros u y d en ocasiones son difíciles de hallar, sin embargo una buena aproximación de estos parámetros, se obtiene de la Ecuación (5.8):

$$u = e^{\sigma\sqrt{(t/n)}} \quad (5.8)$$

Teniendo que:

t = plazo en años de la opción.

n = número de períodos del modelo binomial por año.

σ = Volatilidad en términos anuales prevista para el activo subyacente.

Por otra parte \hat{r} , se puede estimar mediante la Ecuación (5.9):

$$\hat{r} = e^{r_{\text{anual}} \cdot (\Delta t)} - 1 \quad (5.9)$$

Siendo r , el tipo de interés instantáneo, es decir $r_{\text{anual}} =$ el tipo libre de riesgo anual

Calle y Tamayo (2009), aseguran que la extensión de este modelo a un número infinito de períodos da lugar a la formulación que presenta el modelo Black-Scholes que se revisará en el siguiente apartado. Sin embargo, la aproximación del modelo binomial a uno del tipo continuo, como el de Black-Scholes, se considera buena cuando el número de períodos es mayor de cincuenta.

Una de las dificultades que presenta este modelo para valorar opciones lo señalan Alonso et al (2007) se conoce como la maldición de la dimensionalidad¹⁷, la cual se traduce en la inoperatividad del modelo derivada del incremento del volumen de los recursos consumidos en la resolución del

¹⁶ También se puede estimar mediante la Ecuación (5.9).

¹⁷ El término "maldición de la dimensionalidad" es inicialmente acuñado por Richard Bellman para describir la complejidad derivada del incremento del número de dimensiones relevantes en un problema de optimización.

problema, en donde incluso el modelo binomial, considerado uno de los más flexibles de las herramientas convencionales de valoración de opciones, presenta los efectos de esta maldición debido a que el número de nodos que componen el árbol crece exponencialmente con el número de variables de estado.

5.6.2. Black-Scholes

En 1973 Black y Scholes publicaron un artículo donde describieron la valoración de opciones de activos financieros, coincidiendo con la apertura del Chicago Boards Options Exchange y una gran expansión en la comercialización de tales acciones sobre acciones comunes. La ecuación de este modelo se basa en el supuesto de que los retornos de una opción de compra sobre una acción son equivalentes a los de un portafolio u opción sintética que consiste en el préstamo de algún dinero y la compra de acciones subyacentes de acuerdo a Pitkethly (1997). La ecuación de Black-Scholes de hecho se puede derivar directamente de forma análoga al modelo binomial construyendo una cartera de arbitraje y calculando en condiciones de equilibrio el valor de la opción de compra o la opción de venta, se puede obtener los resultados del modelo de Black-Scholes a partir de un modelo binomial para n periodos, en donde n tiende a infinito según lo indicó Mascareñas (2004) y se mencionó en el apartado anterior.

Contrario al modelo Binomial, el cual se considera en tiempo discreto, el modelo de Black-Scholes se considera un modelo en tiempo continuo, esto se debe a que como se acortan los intervalos de tiempo, es decir, tienden a cero, los cambios en los precios se hacen menores, la distribución límite es normal y el proceso de los precios es en tiempo continuo así como lo afirma Damodarán (2008).

Manotas y Manyoma (2001) señalan que este modelo matemático que permite estimar el valor de una opción sobre acciones, se basa en una serie de factores y supuestos mencionados a continuación:

- Las acciones (activo subyacente) no pagan dividendos durante el periodo de maduración de la opción.
- Las opciones se ejercen al vencimiento (opciones europeas).
- Los mercados financieros son eficientes.
- No existen comisiones ni gastos de transacción.
- Las tasas de interés se consideran conocidas y constantes durante el periodo de valoración.
- Los retornos están sujetos a una distribución log normal.

El modelo desarrollado por Black-Scholes, resuelve el problema de valoración de opciones europeas (se ejercen al vencimiento) considerando los factores, iguales a los mencionados en la Tabla 4. Una cuestión fundamental para poder aplicar el modelo Black-Scholes y algunas de sus extensiones es que el rendimiento instantáneo aproxime su distribución a una distribución normal, tal como lo asegura Mascareñas (2004).

La expresión que representa el modelo de Black-Scholes aplicado al valor de una opción de compra es la siguiente Ecuación (5.10):

$$C = S \times N(d_1) - X \times e^{-rt} \times N(d_2) \quad (5.10)$$

En donde,

$$d_1 = \frac{\ln \frac{S}{X} + (r + \frac{1}{2} \times \sigma^2) \times t}{\sigma \times \sqrt{t}}$$

$$d_2 = d_1 - \sigma \times \sqrt{t}$$

Teniendo que :

S: precio del activo subyacente en el momento de la valoración.

X: precio de ejercicio.

r: tasa de interés en tiempo continuo. $r = \ln(1 + i)$.

t: plazo de ejercicio en años.

σ : volatilidad del precio del subyacente en términos anuales.

e = base de logaritmos neperianos.

$N(i)$ = valor de la función de distribución normal para *i*.

Mascareñas (2004) asegura que el funcionamiento del mercado en tiempo continuo está más próximo a la realidad actual de lo que parece. La globalización de los mercados de todo el mundo con la consiguiente cotización durante veinticuatro horas de muchos activo financieros nos acercan al “mundo” del modelo de Black-Scholes, así como lo es también la idea acerca de la eficiencia de los mercados actuales para diferentes subyacentes. El modelo de Black-Scholes y sus extensiones son algunos de los modelos más complicados propuestos en la literatura económica y financiera, pero además son los modelos quizá de mayor utilización efectiva en el mundo financiero real. A pesar del potencial de utilización de la teoría de Black-Scholes, no siempre es posible su utilización bajo las condiciones establecidas por los creadores del modelo, Brach (2003) señala resultados de un estudio en el cual se entrevistaron a practicantes que empleaban la teoría de OR, donde se encontró que las razones para no emplear el método de Black-Scholes eran las siguientes:

- Las OR no son necesariamente opciones europeas con una fecha de ejercicio determinada.
- Los supuestos básicos y esenciales de que los retornos de un activo se distribuyen de manera log normal no son aplicables para la mayoría de activos reales.
- La fórmula de Black-Scholes es percibida como una “caja negra” por los altos directivos, lo que hace difícil entender los impulsores del valor de un proyecto y por lo tanto impide creer en las recomendaciones basadas en la fórmula.

Brach (2003) resume las razones por las cuales el modelo de Black-Scholes no trabaja de manera apropiada para las OR de la siguiente manera:

- La volatilidad de un proyecto no es constante todo el tiempo.
- La fecha de expiración de la opción no es definitiva.
- Tanto el valor del activo así como el precio de ejercicio (costos de desarrollo) se comportan de manera estocástica.
- Los retornos no se distribuyen de manera normal.
- El recorrido aleatorio de los activos reales no es simétrico, existen saltos.

Por las razones mencionadas anteriormente, no siempre es posible y razonable utilizar el modelo de Black-Scholes para la valoración de OR, es por esta razón que aún sigue siendo fuente de estudio el apoyo y utilización de modelos como el modelo de Simulación Monte Carlo que será expuesto en el siguiente apartado.

5.6.3. Simulación Montecarlo

La simulación Monte Carlo es un método de simulación numérica que se suele utilizar cuando, para la valoración de opciones, no existen fórmulas cerradas como por ejemplo las fórmulas de Black-Scholes de acuerdo con Mascareñas (2004). Azofra et al (2007) resaltan cómo la peculiar naturaleza de la simulación Monte Carlo, permite el tratamiento directo de todo tipo de activos, cualquiera que sea el número y tipo de comportamiento estocástico de las fuentes de incertidumbre de las que dependen sus resultados futuros. De acuerdo a Rodrigues y Rocha (2007) la simulación es una alternativa promisorio en la última década para valorar opciones dependientes de la trayectoria, opciones americanas, opciones con múltiples variables de estado y bajo procesos generales estocásticos.

Esta fue propuesta por Phelym Boyle en 1977 y se puede emplear para la valoración de la mayoría de opciones de tipo europeo así como para múltiples modalidades de las llamadas opciones “exóticas” u opciones con una estructura de resultados diferente a la de las europeas o americanas. Permite tener en cuenta todas las combinaciones posibles, ya que tiene en cuenta la distribución completa de los posibles resultados del proyecto, Dumrauf (2002). Expresado de otra manera por Mascareñas (2004), este método permite simular un conjunto muy grande de procesos estocásticos en una valoración. La característica fundamental del método Monte Carlo es la utilización de números al azar, de ahí su nombre, John Von Neumann lo bautizó por esa razón “Monte Carlo” o “Montecarlo”. Los números al azar son comprendidos entre cero y uno, que se generan de forma aleatoria y que proporcionan igual probabilidad de ocurrencia para intervalos de la misma amplitud.

Para Ang y Chai (2010) muchas de las dificultades presentadas con el modelo de Black-Scholes pueden ser superadas empleando simulación Monte Carlo, indicando que este método permite manejar aspectos para su aplicación en el mundo real, incluyendo complicadas reglas de decisión así como relaciones complejas entre el valor de una opción y el activo subyacente. Los modelos simulados también pueden ser resueltos dependiendo de las opciones que se presenten, donde el valor de las opciones no solo depende del valor del activo subyacente, sino también del comportamiento o senda (comportamiento) particular que presente el activo en cuestión.

La hipótesis de partida del modelo es que el logaritmo natural del activo subyacente sigue un proceso geométrico browniano, de forma que se tiene:

$$S + dS = S \exp \left[\left(\mu - \frac{1\sigma^2}{2} \right) dt + \sigma dz \right] \quad (5.11)$$

Donde S es el nivel del activo subyacente, μ es la tasa de retorno esperada del activo subyacente, σ es la volatilidad del activo subyacente y dz es un proceso de Wiener con desviación típica 1 y media 0.

Para simular el proceso, se debe transformar la Ecuación (5.11) en tiempo discreto, es decir, se debe dividir el tiempo en intervalos Δt , de forma que se obtiene la siguiente ecuación:

$$S + \Delta S = S \exp \left[\left(\mu - \frac{1}{2}\sigma^2 \right) \Delta t + \sigma \varepsilon_t \sqrt{\Delta t} \right] \quad (5.12)$$

En donde ΔS es la variación en tiempo discreto para S en el intervalo de tiempo elegido Δt , μ es la tasa de retorno esperada del activo en un mundo libre de riesgo, σ es la volatilidad del activo subyacente y ε_t es un número aleatorio que se distribuye de forma normal estándar $N(0,1)$. Realizando miles de simulaciones se obtienen un conjunto de valores para S_t .

A medida que el Δt es más pequeño (menor es el salto temporal entre un momento y otro) más precisa es la simulación.

La Ecuación (5.12) para un salto temporal Δt y para un activo que no pague dividendos presenta la siguiente forma Ecuación(5.13):

$$S_{t+1} = S_t \exp \left[\left(r - \frac{1}{2}\sigma^2 \right) \Delta t + \sigma \sqrt{\Delta t} \varepsilon_t \right] \quad (5.13)$$

Siendo S_t el precio del active subyacente, r el tipo de interés libre de riesgo, σ la volatilidad del activo subyacente, ε un numero procedente de una distribución $N(0,1)$ y Δt es el vencimiento de la opción en años partido por el número de periodos.

Para un activo que si paga dividendos se presenta la Ecuación (5.14):

$$S_{t+1} = S_t \exp \left[\left(r - q - \frac{1}{2}\sigma^2 \right) \Delta t + \sigma \sqrt{\Delta t} \varepsilon_t \right] \quad (5.14)$$

Donde q son los dividendos del activo subyacente.

Azofra et al (2007) resaltan que el modelo de simulación presenta la ventaja de que su complejidad apenas aumenta con el incremento del número de dimensiones o, de manera más precisa, los recursos requeridos en el cálculo aumentan de manera lineal con el número de variables de estado contrario a lo que ocurre con otros modelos donde la complejidad es considerablemente mayor al aumentar el número de variables. Otra de las ventajas no menos importantes es la flexibilidad del modelo para considerar cualquier patrón estocástico de las fuentes de incertidumbre. Es decir, la simulación no restringe su ámbito de aplicación al habitual proceso Geométrico Browniano, que ha

demostrado su utilidad para caracterizar el comportamiento de los precios de los activos financieros, pero que es difícilmente asumible para otras variables de estado de naturaleza no financiera.

5.7. PASOS DE APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA LA VALORACIÓN DE PATENTES MEDIANTE OPCIONES REALES

En este punto de la investigación ya se tiene un precedente acerca de la teoría de OR, así como su aplicación a todo tipo de proyectos de inversión que involucran altos niveles de incertidumbre y maniobrabilidad en la toma de decisiones. Se tiene igualmente una perspectiva de lo que son las patentes como activos de interés en las organizaciones de la actualidad, las cuales cada vez se basan más en el manejo y generación de conocimiento como valor agregado de cara a los requerimientos de los mercados actuales. Sin embargo, es necesario estructurar y resumir cuales son las pautas o pasos a seguir al momento de realizar una valoración empleando la teoría de OR con el fin de evaluar patentes involucradas en proyectos de I+D+i.

Diferentes autores como Luehrman (1998), Antikarov y Copeland (2001), Mun (2002), Dumrauf (2002), Ruiz (2006), entre otros, han establecido sus propias metodologías o pasos a seguir para realizar la valoración de diferentes tipos de proyecto de inversión empleando la teoría de OR, sin embargo estas metodologías presentan una estructura muy similar entre sí, en donde no se identifican grandes diferencias. Con el fin de simplificar la explicación de aplicación de la metodología de valoración usando OR, se tomó como referencia únicamente la señalada por Mun (2002), la cual consta de 8 pasos para valorar cualquier tipo de proyectos mediante opciones reales. Tomando el trabajo de Mun (2002) como referencia, se realizó la adaptación de la metodología al tener en cuenta las características de proyectos de inversión que involucran patentes. Los pasos a seguir se consignaron a continuación:

- 1) Detección cualitativa de la gestión.** En esta primera etapa la dirección de una organización decide cuales proyectos, activos, iniciativas o estrategias requieren de un análisis de acuerdo con la misión, visión, objetivos y estrategias del negocio. Tratándose de patentes esta etapa es clara, el objetivo es determinar el valor de una patente por el cual una organización estaría dispuesta a invertir con el fin de obtener los beneficios económicos derivados. Es de vital importancia identificar en esta etapa inicial, cuál será la perspectiva de valoración a tener en cuenta para hallar el valor de la patente. Una de las mayores confusiones que señalan autores como Pitkethly (1997), Perez (2005), Murani y Oriani (2010) entre otros, es que el valor de la patente puede variar dependiendo si la perspectiva de valoración es desde un punto de vista legal, económico, estratégico, contable, u otro. En palabras de Smith y Parr (2005), el concepto clave del valor de la patente depende del contexto específico de valoración, en términos del enfoque, el tiempo y los propósitos e intereses de las partes. Antes de iniciar la valoración se debe de contestar las preguntas acerca de “qué”, “por qué”, “cuando” y “como” es lo que se piensa valorar.
- 2) Análisis de VPN para el caso base.** Para cada uno de los proyectos señalados en la etapa anterior se debe crear el flujo de caja descontado. Se emplea el método tradicional para

pronosticar los costos e ingresos y se recurre a una tasa ajustada al riesgo apropiada para ello. Esta etapa es señalada igualmente por Dumrauf (2002) y Antikarov y Copeland (2001) como la primera a seguir según su metodología y es empleada por Pabón (2007), Millán y Sugymoto (2010), Agudelo y Rey (2008) entre otros. Aquí se hace referencia específicamente al flujo de caja generado por la patente, es decir, los ingresos que generarían el poseer el derecho de monopolio sobre el manejo de la tecnología, producto o proceso patentado sin tener en cuenta la flexibilidad de las opciones que se puedan presentar en el proyecto. Es vital en este punto no confundir el valor de la tecnología con el de la patente y recordar que una patente tiene un plazo de tiempo determinado que habitualmente es de 20 años.

- 3) **Simulación Monte Carlo.** Con el fin de tener una mejor estimación del valor actual del proyecto se utiliza la simulación Monte Carlo. La forma para utilizar este análisis es empezar con la identificación de las variables críticas del modelo, esto se puede hacer mediante análisis de sensibilidad o mediante gráficos de tornado que proporcionan algunos paquetes de software especializados. Las variables clave identificadas (ingresos, costos, tasas de impuestos, tasas de descuento, gastos de capital, depreciación, ventas, diversas variables econométricas, entre otras, dependiendo del modelo), son candidatas a ser simuladas mediante Monte Carlo ya que algunos de estos aspectos críticos podrían estar correlacionados. Con base en los supuestos establecidos en el modelo, se procede al cálculo de las distribuciones de probabilidad de las variables que determinan la incertidumbre del proyecto de valoración de la patente. Dumrauf (2002) señala esta etapa como la segunda en su metodología en donde explica se definen las distribuciones de probabilidad de cada variable dependiendo de su naturaleza y comportamiento habitual, la determinación de las funciones de probabilidad a asignar a cada una de las variables identificadas como críticas, puede realizarse principalmente de tres maneras, ya sea a través del análisis de series de datos de dichas variables, mediante método Delphi, consultando con expertos del tema en cuestión o empleando supuestos coherentes sobre para representar la realidad mediante el modelo. Una vez especificada la distribución de probabilidad para cada variable, se elige aleatoriamente un valor proveniente de la distribución de probabilidad de cada variable para calcular los flujos de efectivo del proyecto, y estos se utilizan para calcular el VPN que tiene en cuenta la incertidumbre asociada al proyecto. En este punto también se determina la volatilidad relacionada con los futuros flujos de caja libres, Mun (2002) recomienda la estimación de la volatilidad medida como la desviación estándar de los retornos logarítmicos de los flujos de caja libres, la volatilidad estimada será uno de los elementos de entrada en el modelo de OR.
- 4) **Identificación de las Opciones Reales.** Mun (2002) señala esta etapa como la contextualización del problema dentro del paradigma de las OR. Se realiza una identificación de las opciones estratégicas que se involucran en el problema y se seleccionan aquellas opciones que el analista considere son más importantes y requieren ser analizadas de manera más profunda. Pabón (2007) realiza un listado donde identifica las

opciones que se presentan en el proyecto de inversión en cuestión para posteriormente seleccionar el tipo de opción compuesta como la de interés a evaluar. Cuando se trata de patentes, son diversas las opciones que se pueden presentar y es necesario establecer ya sea con la ayuda de expertos o por el mismo conocimiento del evaluador, cuáles de estas opciones son las de mayor importancia y por lo tanto son las que se deben tener en cuenta para el análisis. Principalmente al valorar patentes, el tipo de opciones que más se ajusta al manejo de la flexibilidad en la toma de decisiones es el de opciones compuestas, debido a que muchos de estos proyectos aún se encuentran en fases de desarrollo y es probable que en alguna de las fases previas antes de su explotación resulte favorable abandonar el proyecto en lugar de incurrir en grandes pérdidas.

- 5) **Modelación y análisis de las Opciones Reales.** Se asume que el subyacente son los rendimientos futuros del proyecto. Dumrauf (2002) considera esta parte dentro de la segunda, tercera y última etapa de su metodología, en donde también se elaboran el árbol de eventos (árbol binomial) y el árbol del valor de la opción, empleando la volatilidad, las tasas ajustadas al riesgo y las ecuaciones señaladas en la sección 5.6.1. señaladas anteriormente. Igualmente se calculan las opciones analíticas y se identifica e incorpora la flexibilidad gerencial diseñando el árbol de decisión del proyecto y se concluye con el análisis y valoración de las opciones involucradas con la patente.
- 6) **Optimización de cartera y recursos.** Mun (2002) señala este paso como opcional durante el análisis de OR. Toma valor principalmente cuando existen diferentes proyectos de inversión, los cuales se pueden ver como un portafolio de proyectos ya que en la mayoría de los casos estos se correlacionan entre sí lo que afecta el valor de cada uno de los otros proyectos. Debido a que las empresas presentan restricciones de presupuesto, tiempo y recursos es necesario establecer cuál sería la mezcla de portafolio óptimo que más beneficia a la organización. Este paso cuando se habla de patentes tomaría importancia por ejemplo al momento de tener diferentes patentes que conforman un portafolio de este tipo de activos, en tal caso se requiere de un mayor conocimiento en gestión de cartera de activos de este tipo, tema que no hace parte del alcance del presente trabajo y por lo tanto no será tenido en cuenta.
- 7) **Revisión, refinación y presentación de informes del modelo.** El análisis no ha terminado hasta que se generan los informes respectivos, sin embargo antes es necesario revisar que el modelo se comporte de manera apropiada, efectuando ajustes en caso de ser necesarios. En los informes no solo se muestran los resultados sino también parte del proceso. Deben presentar explicaciones claras, y concisas de los diversos temas en cuestión. Como afirma Mun (2002), la administración no debe aceptar resultados como “cajas negras” si no se entienden los supuestos o datos originados por la manipulación financiera o matemática que se haya realizado. En este punto ya se tiene el valor de la patente incluyendo el valor adicional generado por las opciones involucradas en el proyecto, permitiendo de esta manera la toma de decisiones en relación al activo en cuestión.

- 8) **Actualización de análisis.** El análisis de OR en este punto asume que el futuro es incierto y que la administración tiene el derecho corregir sobre la marcha cuando esas incertidumbre comienzan a ser resueltas o se comienza a conocer el riesgo. Por lo tanto, cuando el riesgo comienza a ser conocido, el análisis puede ser revisado para incorporar la toma de decisiones o los supuestos de entrada.

Debido a las características de los proyectos de inversión y en general de cualquier tipo de proyectos, los pasos anteriores son solo guías y no indican que sean los pasos precisos para valorar cualquier patente, ya que esto también depende de aspectos propios de la valoración y de la persona(s) que la(s) estén realizando.

Un aspecto importante a tener en cuenta al momento de trabajar en la valoración de patentes, corresponde a la aparición de empresas u personas naturales que pretenden explotar la patente sin la debida autorización del dueño de la misma. Todo proyecto relacionado con patentes puede tener la probabilidad de que estas sean infringidas, dependiendo de la patente, su potencial comercial y la capacidad que presente la contraparte de reproducir los resultados obtenidos por el poseedor verdadero. Marco (2005) se dedicó al análisis de este caso en donde empleó el enfoque de OR para investigar los litigios de patentes en casos donde la aplicación es costosa, ganar el litigio presenta cierta incertidumbre y las creencias acerca de la validez se comportan de manera estocástica. Lo que realizó Marco (2005) fue tratar la patente como una opción para presentar una demanda contra un presunto infractor, afirmando que el valor de la patente es una función de la aplicabilidad del derecho de propiedad, la tecnología subyacente y la distribución de creencias acerca de estos parámetros. Aunque la litigación puede llegar a influenciar el valor de una patente, para el presente trabajo no se tendrá en cuenta debido a que no hace parte de los objetivos a cumplir mediante este.

6. CASO DE ESTUDIO: PATENTE DEL PROCESO PARA LA DESTRUCCIÓN DE RESIDUOS TÓXICOS MEDIANTE OXIDACIÓN EN PRESENCIA DE AGUA Y OXÍGENO. APLICADO AL CASO DE BIFENILOS POLICLORADOS (PCBs)

6.1. QUE SON LOS BIFENILOS POLICLORADOS (PCBS)

Los bifenilos policlorados o mejor conocidos como PCBs (por su nombre en inglés Polychlorinated Biphenyls) son compuestos orgánicos aromáticos que fueron creados por el hombre y que se componen de dos anillos de fenilos con átomos de cloro. Estos compuestos se caracterizan por ser muy estables, son resistentes a la degradación térmica, química y biológica, además de ser altamente tóxicos. Son líquidos viscosos, incoloros o de color amarillo pálido, con leve olor a hidrocarburos. Poseen excelentes propiedades aislantes, longevidad y no son inflamables, por lo cual fueron utilizados ampliamente en equipos eléctricos como transformadores y condensadores, intercambiadores de calor, sistemas hidráulicos y también en la fabricación de pinturas y plásticos, Ocade-Lito-Saniplan (2006).

La producción mundial de PCBs de 1929 a 1977 se calcula en 1,2 millones de toneladas, según la OMS (1993), alcanzando su gran auge en 1971 con aproximadamente 52000 toneladas anuales y en donde las plantas de Monsanto en los Estados Unidos producían más de la mitad de la producción mundial. Otros países importantes en producción de PCBs fueron Alemania, Francia, Italia, España, La Unión Soviética y Japón entre otros que los producían en menor cantidad. La mayoría de los países occidentales industrializados cesaron la producción de PCBs a finales de la década de los 70 o principios de los 80 debido al descubrimiento del daño que producen estos compuestos en el medio ambiente y la salud de los seres vivos incluyendo los seres humanos (más adelante se detallan los nocivos efectos de estos), aunque algunos países continuaron la producción unos años después de ello, Ministerio del Medio Ambiente¹⁸ y Douglas White & Associates (1999).

Cualquier equipo, sólido, líquido u otro material que contenga más de 50 ppm de PCBs es considerado como contaminado y debe dársele un manejo adecuado, Ministerio del Medio Ambiente y Douglas White & Associates (1999).

6.2. USOS DE LOS PCBS

Por lo general los PCBs puros eran comprados por los grandes fabricantes de químicos y con frecuencia se mezclaban con otros productos para venderlos luego bajo diferentes marcas o nombres para la fabricación de equipos eléctricos y otros usos.

Los usos de los PCB y ejemplos se presentan en la Tabla 5.

¹⁸ Ministerio del Medio Ambiente: Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible de la República de Colombia.

Tabla 5. Usos de los PCBs

Usos	Descripción	Ejemplos
Sistemas cerrados	Son unidades selladas o cerradas, donde los PCB se mantienen dentro del equipo. En condiciones normales de estos sistemas, los usuarios o el medio ambiente no se encuentran expuestos a los PCB. Las emisiones de PCB pueden ocurrir en actividades de mantenimiento y reparación o como resultado de un daño del equipo (incendio).	PCB como fluidos dieléctricos en: <ul style="list-style-type: none"> - Condensadores - Transformadores - Motores eléctricos - Balastos de equipos de iluminación - Electroimanes
Sistemas parcialmente cerrados	Son sistemas en los cuales los PCB no están expuestos directamente al medio ambiente; sin embargo, pueden llegar a liberarse periódicamente por el uso del equipo.	PCB como aceites en: <ul style="list-style-type: none"> - Intercambiadores de calor - Sistemas hidráulicos - Bombas de vacío
Sistemas abiertos	En este caso, los PCB son constituyentes de otros productos que se encuentran fácilmente en contacto con el medio ambiente y el ser humano.	<ul style="list-style-type: none"> - Tintas - Lubricantes - Retardantes de llama - Pesticidas - Materiales aislantes - Adhesivos - Pinturas - Plastificantes

Fuente: Guía para la identificación de PCB y materiales contaminados con PCB. PNUMA¹⁹ Químicos, 1999.

6.3. PROBLEMAS AMBIENTALES Y DE SALUD OCASIONADOS POR PCBs

A principios de la década de los 60, las técnicas de laboratorio e instrumentación mejoradas permitieron a los científicos detectar trazas de contaminantes químicos en el ambiente. En ese tiempo, los científicos estaban preocupados por el aumento de la contaminación ambiental debido al uso de pesticidas orgánicos clorados como el DDT. Uno de los químicos que más sorpresa causó a los científicos, cuando lo encontraron en muestras de aire, agua y tierra, fue el PCB.

Se observaron problemas en la reproducción de la vida salvaje y la disminución de la población, con los químicos orgánicos clorados encontrados en el ambiente, Marulanda (2009).

En Yusho (1968), 1000 personas resultaron afectadas por aceite de cocina contaminado con PCBs, desarrollaron cloracné (erupciones en la piel), cambios en el pigmento de la piel y problemas gastrointestinales. Estudios posteriores de estas personas demostraron una reducción en el peso de sus hijos al nacer, así como un C.I (Coeficiente Intelectual) más bajo y un desarrollo motriz desmejorado.

Otros estudios de la exposición de los seres humanos a los PCBs han indicado los siguientes síntomas: cloracné, irritación en los ojos, problemas neurológicos y posibles cánceres rectales y del hígado. Aunque existe muy poca evidencia científica para demostrar que los PCBs pueden causar cáncer, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) los considera potencialmente cancerígenos para los humanos.

¹⁹ PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente).

Los estudios también señalan que las mezclas de PCBs con frecuencia están contaminadas de dibenzo-dioxinas policloradas (PCDDs) y dibenzo-furanos policlorados (PCDFs), que son considerados más tóxicos que los PCBs y pueden ser la causa de algunos síntomas adversos de la salud, Ministerio del Medio Ambiente y Douglas White & Associates (1999).

6.4. ACCIONES DE RESPUESTA ANTE EL PROBLEMA DE LA CONTAMINACIÓN OCASIONADA POR LOS PCBs

La convención de Basilea (marzo de 1989), de la cual Colombia ha formado parte desde 1996²⁰, menciona a los PCBs como unos de los desechos peligrosos cubiertos por la convención. La convención de Basilea reconoce que los estados deben tomar las medidas necesarias para asegurar que el manejo de los desechos peligrosos y otros desechos, incluyendo sus movimientos a través de las fronteras y su eliminación, sean consistentes con la protección de la salud humana y el medio ambiente, cualquiera que sea el sitio donde se eliminen.

Los países miembros de las Naciones Unidas se han reunido activamente desde hace algunos años con el fin de discutir la forma de reducir o eliminar las emisiones de COPs²¹ entre los que se incluyen los PCBs. En 1998 se elaboró un borrador del protocolo.

El 17 de mayo de 2001 se firmó el Convenio de Estocolmo, el cual es un acuerdo internacional que busca regular el tratamiento de sustancias tóxicas. Este convenio comenzó a entrar en vigencia para el año 2004, siendo ratificado por 121 países entre ellos Colombia. Los países que firmaron el convenio se comprometieron a prohibir la fabricación, utilización, emisión y almacenamiento de nueve de los químicos de la docena sucia, usar el DDT²² solo para el control de la malaria y reducir la producción inadvertida de las dioxinas y furanos (PNUMA, 2005). Además se prohibió la recuperación, reciclado, reutilización o usos alternativos de los COPs. En cuanto a los PCBs el convenio impuso un plazo hasta el año 2025 para eliminar los equipos ya instalados y hasta 2028 para la completa destrucción de todas las existencias de PCBs identificadas, a la vez que promovió la investigación y la utilización de las mejores técnicas y prácticas ambientales para tal fin.

6.4.1. Acciones para el manejo de PCBs en Colombia

A comienzos de 1998 se realizó un inventario preliminar de PCBs en Colombia. En 1999 se presentó un estudio llevado a cabo por el Ministerio de Medio Ambiente en conjunto con la empresa Douglas White and Associates, en el cual se presentó un manual de manejo de PCBs en el territorio nacional. En este documento se encuentra información que contiene indicaciones de cómo manejar este tipo de compuestos, sus efectos, transporte, almacenamiento, toma de muestras así como la descontaminación y eliminación.

²⁰ Ley 253 de la República, enero 9 de 1996.

²¹ COPs (Contaminantes Orgánicos Persistentes).

²² DDT (Dicloro Difenil Tricloroetano). Es un compuesto organoclorado principal de los insecticidas.

En el año 2007 se publica el estudio conocido como “Inventario Preliminar de Compuestos Bifenilos policlorados (PCB) existentes en Colombia”, este contiene la información de las existencias de PCBs a lo largo del territorio nacional en diferentes sectores de la industria.

El compromiso de Colombia y de muchos otros países por eliminar compuestos contaminantes como los PCBs con el fin de preservar la salud y el medio ambiente, es una de las razones de la importancia en la generación de formas más eficientes de destrucción de este tipo de compuestos. Así mismo demuestra la necesidad de contar con un marco integral que propicie e incentive el desarrollo de este tipo de proyectos. Por medio de la ley 994 del 2 de septiembre de 2005 se aprobó en Colombia el Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes con el fin de proteger la salud humana y el medio ambiente, lo que ha generado todo un movimiento alrededor del tratamiento y descontaminación de este tipo de sustancias en donde se incluyen los PCBs.

6.5. PCBS EN TRANSFORMADORES Y CONDENSADORES ELÉCTRICOS

Los transformadores y condensadores eléctricos se encuentran entre los principales equipos contaminados con PCBs, sobre todo aquellos que fueron fabricados antes de 1979 en Estados Unidos o antes de 1984 en Europa (Ministerio del Medio Ambiente, 1999), esto se debe al aceite dieléctrico que contienen estos en muchas ocasiones se encuentra contaminado con este tipo de compuesto.

La mayoría de los transformadores y condensadores eléctricos fabricados antes de las fechas señaladas anteriormente, utilizan un fluido dieléctrico a base de bifenilos policlorados (PCB). Estos productos poseen las propiedades necesarias para su uso en equipos eléctricos, como la pirorresistencia²³, pero presenta algunas desventajas importantes. Como ya se mencionó, estas tienen que ver con la naturaleza tóxica de los PCB y el hecho de que puedan contaminarse con dibenzofuranos²⁴ o transformarse en ellos, PNUMA (2002).

La patente a valorar en el presente trabajo, se enfocará principalmente en el tratamiento de aceites dieléctricos de transformadores contaminados con PCBs, esto debido al potencial de mercado que hay alrededor de estos productos y al compromiso que existe a nivel mundial a través del Convenio de Estocolmo para la descontaminación y eliminación de los mismos.

6.5.1. Descripción de los transformadores

El transformador es un dispositivo electromagnético utilizado para aumentar o disminuir el voltaje y la intensidad de una corriente alterna. Está conformado por dos bobinas acopladas magnéticamente entre sí, más sus conexiones de entrada y salida. El transformador contiene además una cantidad

²³ Resistencia al fuego.

²⁴ Los dibenzofuranos son un grupo de sustancias estructuralmente semejantes a las dioxinas, llamados genéricamente policloro-dibenzofuranos (PCDF). Son químicamente estables, muy liposolubles y de baja biodegradabilidad. Es decir que son muy persistentes en el medio ambiente y tienden a acumularse en el suelo, el agua, el aire y los tejidos orgánicos, aumentando su concentración a lo largo de la cadena alimentaria. Son altamente tóxicos y cancerígenos.

importante de aceite dieléctrico (puede ser PCB), que cumple la función de medio aislante y refrigerante.

En resumen un transformador está compuesto de las siguientes partes, que hay que tomar en cuenta al momento de retirarlo de servicio:

- Una cuba o tanque metálico
- Un núcleo de acero magnético (laminas ensambladas)
- Bobinas de cobre cubiertas con capa aislante de resina o papel
- Separadores de madera de diversas formas (estos son porosos y pueden absorber el aceite dieléctrico)
- Aceite dieléctrico

Según el Manual de Capacitación del Convenio de Basilea: Preparación de un Plan Nacional de Manejo Ambientalmente adecuado de los Bifenilos policlorados (PCB) y de Equipos contaminados con PCB, “las cantidades de líquido dieléctrico que contienen los transformadores dependen directamente de la capacidad del mismo”. De acuerdo a la información del Manual de Capacitación del Convenio de Basilea 1Kva=1 litro de dieléctrico y a su vez 1 litro de dieléctrico PCB=1,5Kg.

6.5.2. PCBs en transformadores de aceite mineral

La existencia de PCBs en aceites minerales para transformadores se debe principalmente a tres razones diferentes:

- El uso de PCBs para “mejorar” la calidad del aceite mineral. Debido a las ventajas técnicas de los PCBs y la facilidad con que se mezclan en los aceites minerales.
- La contaminación cruzada de los aceites minerales durante las operaciones de mantenimiento de transformadores, ya que las herramientas e implementos utilizados para esta actividad se contaminan por equipos que contienen PCBs.
- El cambio de los PCB de los transformadores por aceites minerales. En este caso, se presenta una contaminación del aceite mineral de reposición. Los transformadores con PCB son drenados y rellenados con aceite mineral limpio; sin embargo, este nuevo aceite se contamina debido a la lixiviación gradual de los PCB contenidos en las partes porosas del transformador, que puede continuar por un periodo de hasta tres años antes de estabilizarse, Marulanda (2009).

6.6. TECNOLOGÍAS UTILIZADAS EN LA ACTUALIDAD PARA EL TRATAMIENTO Y ELIMINACIÓN DE PCBs

Son diversas las tecnologías que existen hasta el momento para eliminar ya sean PCBs puros o mezclados con aceites dieléctricos, sin embargo, las tecnologías industriales que históricamente se han usado para procurar la destrucción de las existencias y materiales contaminados con COPs son las de combustión en incineradores u hornos cementeros modificados, afirma Marulanda (2008).

Incineración. Es la tecnología más ampliamente utilizada y probada para la destrucción de PCBs. Esta ha demostrado una eficiencia de destrucción del 99.9999%. Según Marulanda (2008), este proceso de destrucción se considera ex situ y habitualmente ocurre a temperaturas de entre 870 y 1200 °C, empleándose para incinerar sólidos y líquidos contaminados.

Decloración química. La decloración química se basa en las reacciones, ya sea con un metal alcalino enlazado orgánicamente (naphthalide de sodio o polietilenglicol de sodio), o un óxido de metal alcalino o hidróxido. En este el contenido de cloro se convierte en sales inorgánicas, que pueden ser retiradas de la fracción orgánica por filtración o centrifugación, PNUMA (1998).

Sistemas de Arco de Plasma. Estos sistemas crean un campo de plasma térmico dirigiendo una corriente eléctrica a través de un flujo de gas de baja presión utilizándose para el tratamiento de residuos orgánicos (clorados y no clorados). El arco de plasma puede alcanzar temperaturas de 5000 hasta 15000 °C. La intensidad de la alta temperatura puede ser usada para disociar residuos en sus elementos atómicos mediante la inyección de estos en el plasma.

El problema principal de este tipo de sistemas, se refiere a la necesidad de grandes inversiones de capital para su implementación. Como lo menciona Marulanda (2009), muchas de las tecnologías alternativas emergentes propuestas para la destrucción de PCBs, tales como la de arco de plasma, pirolisis en metal fundido, pirolisis en sal fundida y oxidación electroquímica representan a la fecha desafíos tecnológicos incluso superiores a los descritos en los procesos de incineración.

6.7. PROCESO PARA EL TRATAMIENTO DE BIFENILOS POLICLORADOS (PCBS) MEDIANTE OXIDACIÓN EN AGUA SUPERCRÍTICA

Ante la necesidad de nuevas formas de tratamiento de aceites contaminados con PCBs, los investigadores de la Universidad del Valle Gustavo Bolaños y Víctor Marulanda de la Escuela de Ingeniería Química, emplearon la tecnología de oxidación en agua supercrítica, demostrando ser eficiente en la destrucción de un amplio espectro de componentes químicos, incluidos los PCBs. A partir de la investigación realizada, se realizó la solicitud de patente de este proceso de acuerdo al Tratado de Cooperación en Materia de Patentes (PCT).

6.7.1. Información de la patente

6.7.1.1. Título: Patente del proceso para la destrucción de residuos tóxicos mediante oxidación en presencia de agua y oxígeno y unidad móvil continua para el tratamiento de compuestos peligrosos.

6.7.1.2. Resumen: Proceso para la destrucción de residuos tóxicos mediante oxidación en presencia de agua y oxígeno desarrollado en fase homogénea a una temperatura y presión especificadas y una unidad móvil continua fácilmente desplazable a los sitios de provisión de los efluentes o medios contaminados que se encuentra conformada por un reactor que incluye zonas de presurización, reacción, enfriamiento, despresurización y muestreo para la destrucción de residuos tóxicos como bifenilos policlorados (PCBs), piridinas y otros compuestos peligrosos.

6.7.1.3. Fecha de Publicación: Esta patente fue publicada internacionalmente el 17 de diciembre de 2009, con un tiempo de funcionamiento de 20 años, lo que significa que estará vigente hasta junio del año 2029.

6.7.1.4. Reivindicaciones: El documento de la patente presenta 17 reivindicaciones que establecen el alcance de la patente.

6.7.2. Descripción del proceso para el tratamiento de Bifenilos policlorados (PCBs) mediante oxidación en agua supercrítica

Tomando como referencia el esquema tecnológico de la unidad móvil continua presentado por Marulanda (2009), se explicará el funcionamiento y desarrollo del proceso de tratamiento de aceites dieléctricos contaminados con PCBs.

1. Transporte y recolección de transformadores y/o canecas con contenido de aceite contaminado con PCBs. Este paso inicial trata de la identificación, negociación y recolección del aceite contaminado en diferentes lugares, para poder ser transportado hasta la planta de tratamiento.
2. Drenado del aceite de los transformadores y/o canecas. Consiste en el drenado en su totalidad del contenido de aceite dieléctrico del transformador y su almacenamiento en un tanque receptor por medio de una bomba.
3. Descontaminación de transformadores drenados. La ejecución de esta etapa depende del aceite contaminado con PCBs y de la concentración inicial de estos últimos en el transformador, así como del destino final del equipo: reutilización o reciclaje de los componentes metálicos. Lo que se realiza específicamente es un lavado inicial del transformador con percloroetileno caliente para remover la capa superficial del aceite, con posterior recuperación por separación flash del solvente orgánico, y finalmente un retro llenado con percloroetileno del transformador durante tres meses, tiempo en el cual se efectúa un análisis para determinar la concentración de PCBs. En caso de que la concentración de PCBs sea mayor a 50 ppm se recupera el solvente orgánico y se hace un nuevo retro llenado con solvente limpio durante otros tres meses. Puesto que la mayor parte de residuos de PCBs en Colombia corresponde a transformadores con concentraciones menores a 1000 ppm, dos lavados deberían ser suficientes.
4. Recuperación flash del percloroetileno o solvente orgánico que se esté utilizando.
5. Deionización del agua de dilución del peróxido de hidrógeno para evitar incrustaciones en el reactor y las zonas de precalentamiento.
6. Recuperación de energía generada durante el proceso de oxidación para el mismo precalentamiento de la solución de peróxido de hidrógeno junto con la ayuda de un calentador adicional que garantice las condiciones de temperatura de entrada.

7. Después de ceder parte de su energía para precalentamiento de los reactantes, la mezcla reaccionante se enfría por medio de agua en un intercambiador de calor y se despresuriza por medio de una válvula operada de forma automática por un sistema de control.
8. La etapa final del proceso consiste en la separación de las fases gaseosa y líquida para posible análisis de la eficiencia de destrucción y contenido de PCBs del proceso, actividades llevadas a cabo como parte del control de calidad del servicio ofrecido.

6.7.3. Desarrollo y explotación de la patente

A fin de lograr obtener un beneficio económico de la patente es necesario identificar inicialmente, el punto de desarrollo en el cual esta se encuentra ubicada. Esto tiene como propósito, permitir dar una idea de las etapas faltantes requeridas para explotar la patente.

Como la mayoría de procesos de I+D+i, se deben efectuar diferentes pasos o etapas para lograr obtener un producto, proceso o servicio completamente comercializable. Pasando al caso específico de la patente a evaluar en el presente trabajo, se han identificado las siguientes fases o etapas:

1. **Fase de Laboratorio.** La fase de laboratorio corresponde a la fase actual en la que se encuentra la patente en estudio. En esta se están realizando pruebas con aceites dieléctricos con diferentes contenidos de PCBs. Los resultados preliminares que obtuvieron los investigadores demostraron la destrucción de aceites dieléctricos contaminados con PCBs, sin embargo aún se continúa experimentando para obtener mejores resultados.
2. **Fase de Planta Piloto.** En la primera fase, los investigadores realizaron pruebas a escala de laboratorio que permitieron disminuir la incertidumbre acerca de la efectividad del proceso de destrucción de residuos contaminantes como los PCBs y aceites dieléctricos contaminados con estos. La fase de planta piloto es una de las fases de I+D que tiene como objetivo reducir la incertidumbre con relación a la utilización de otras materias primas durante el proceso de tratamiento, a las condiciones propicias a mayor escala y en general al comportamiento del proceso. Se busca obtener un proceso más económico y con una efectividad mayor a la alcanzada en la fase de laboratorio que permita ratificar la comercialización del servicio en la fase posterior.
3. **Fase Escalamiento: Planta industrial y comercialización a nivel nacional.** En esta fase se considera la construcción de una planta de tratamiento especializada en el tratamiento de aceites dieléctricos contaminados con PCBs. Esta planta a escala industrial pretende satisfacer buena parte del mercado de aceites contaminados con PCBs en Colombia. En esta etapa ya se tiene conocimiento del proceso y sus condiciones óptimas de operación a escala industrial, igualmente en este punto se espera que el proceso comience a generar ingresos, los cuales serán determinantes para la viabilidad y éxito del proyecto, así como su posible aplicación o expansión a mercados en otros países.
4. **Fase Escalamiento: Plantas industriales en otros países y comercialización.** Esta etapa contempla la idea de expansión del negocio y explotación de la patente en países con un alto potencial de mercado de aceites dieléctricos contaminados con PCBs. El potencial de negocio de esta patente se deriva de esta idea, es decir, de la cantidad total de toneladas de

aceite contaminados que hay en diversos países a nivel mundial sumado a la necesidad de eliminación de los PCBs antes del año 2028.

6.7.4. Mercado del tratamiento de aceites contaminado con PCBs en Colombia

6.7.4.1. Inventario de PCBs en Colombia

En mayo del año 2007 el entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de la República de Colombia emitió el “Inventario Preliminar de Compuestos Bifenilos policlorados (PCBs) existentes en Colombia”, con el objetivo de realizar un estudio de carácter exploratorio para obtener un primer diagnóstico sobre la existencia de Bifenilos policlorados (PCBs) en el país, el cual fue utilizado como insumo técnico para la formulación del plan de Acción Nacional de eliminación de estos desechos, en el marco del plan nacional de aplicación del Convenio de Estocolmo. En este estudio se recopiló información primaria y secundaria acerca de la disponibilidad de estos compuestos químicos a lo largo del territorio nacional.

De acuerdo con la información registrada en este inventario y conforme al objetivo de la patente relacionada con la investigación, es para el interés de este estudio tener en cuenta únicamente aquel inventario de transformadores contaminados con PCBs ya sea como aceite contaminado con PCB o como PCB puro. En el inventario directo de PCB en Colombia registrado en la Tabla 6, se puede apreciar la cantidad de toneladas que existían hasta el año 2007.

Tabla 6. Inventario de PCBs en Colombia

Tipo de Metodología utilizada	Fuente de PCB	Cantidad (Ton.)
Estimación	Probable existencia a nivel nacional de PCB puro en transformadores en desuso	683,27
	Probable existencia a nivel nacional de PCB puro en transformadores en uso	547,74
	Probable existencia a nivel nacional de transformadores contaminados con PCB, en uso	de 9.771 a 12.803
	Probable existencia a nivel nacional de transformadores contaminados con PCB, en desuso	de 302 a 396
Recolección directa, reportes y formularios	Existencias de equipos, aceites y residuos contaminados con PCB	926,65
Levantamiento de registros	PCB importado al país en aceites y equipos	20,14
	Condensadores importados al país antes del año 1985, probablemente con PCB	3.863,39

Fuente: Unión Temporal OCADE-LITO-SANIPLAN

Para el interés de la presente investigación se estimó que existían al menos para el año 2007 a nivel nacional, un mercado potencial de 11287 toneladas de transformadores contaminados con PCBs, valor que corresponde al promedio de existencia de toneladas a nivel nacional de transformadores contaminados con PCBs en uso.

Según información suministrada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, al año 2009 (cantidades desde el 2007, 2008 y 2009) la cantidad de PCBs exportados para su tratamiento era de 438,75 Kg, lo que indica que a pesar de la conciencia y el conocimiento del tema a nivel general, aun es necesario realizar tratamiento a una gran cantidad de aceites y transformadores contaminados con PCBs.²⁵

6.7.4.2. Competencia

En Colombia realmente no existen empresas dedicadas al tratamiento de este tipo de desechos, es decir que no existen plantas de tratamiento para este tipo de residuos. En cambio existen unas pocas empresas dedicadas a la gestión de estos aceites, las cuales brindan principalmente los servicios de recolección, manejo y exportación a países en el exterior donde sí pueden ser eliminados. Una de las más conocidas es Lito Ltda., una empresa con un recorrido de cerca de 10 años dedicada al tratamiento de todo tipo de residuos industriales en diferentes lugares de Colombia. Lito S.A., incluso formó parte de la unión temporal Ocade-Lito-Saniplan, responsable de la realización del inventario preliminar de compuestos bifenilos policlorados (PCB) existentes en Colombia. Esta empresa cuenta con centros de operaciones en las ciudades de Medellín, Bogotá, Cali, Barranquilla y Bucaramanga. Otras empresas reconocidas en el sector son Ocade-Control Ambiental y Desarrollo Empresarial Ltda. con sede en la ciudad de Bogotá, Tredi de Colombia Ltda. ubicada igualmente en la capital del país y la empresa Grupo Veolia, una organización del grupo francés del mismo nombre dedicada a la prestación de servicios y de capital español.

6.7.5. Mercado del tratamiento de aceites contaminado con PCBs a nivel mundial

Como ya se mencionó anteriormente, a raíz del Convenio de Estocolmo fueron muchos los países que comenzaron a enfocar sus esfuerzos en materia medio ambiental, sobre la gestión de desechos contaminantes como los PCBs y aceites contaminados con estos.

Una breve reseña acerca de la situación de los inventarios de PCBs a nivel mundial se encuentra registrada en el Magazine PEN desarrollado por el PNUMA y el Convenio de Estocolmo.

En los países desarrollados los equipos con PCBs han sido gradualmente identificados, analizados y sustituidos. En Suiza por ejemplo, el primer inventario de PCBs en equipos eléctricos se inició en 1983, y a más tardar en agosto de 1998 tenían que haberse eliminado todos los equipos que contenían PCBs. En general se alcanzaron los objetivos. Sin embargo aún se sigue trabajando en el tema y diferentes países se encuentran desarrollando los inventarios e incluso algunos ya se encuentran adelantado tareas de descontaminación de PCBs y aceites contaminados.

Si bien los PCBs en sistemas cerrados están en general bajo control en los países desarrollados, aún hay en uso una cantidad significativa de equipos que contienen o están contaminados con PCBs en

²⁵ Información suministrada por la profesional especializada del Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible Andrea López a través de correo electrónico alopez@minambiente.gov.co, el día 23 de enero de 2012.

países en desarrollo y en países con economías en transición, debido a los altos costos logísticos y financieros vinculados a la sustitución segura y ambientalmente racional de los equipos contaminados con PCBs.

La información levantada y reportada por algunos países pertenecientes al Convenio de Estocolmo ha sido organizada en la Tabla 7, en donde se pueden apreciar las toneladas estimadas de PCBs en estado líquido y de aceites contaminados para cada uno de los países donde fue posible conseguir la información. Estos datos corresponden a información recolectada por ministerios de cada uno de estos países en los últimos 6 años, los datos más recientes son del 2010 y 2011.

Tabla 7. Inventario de PCBs en diferentes países

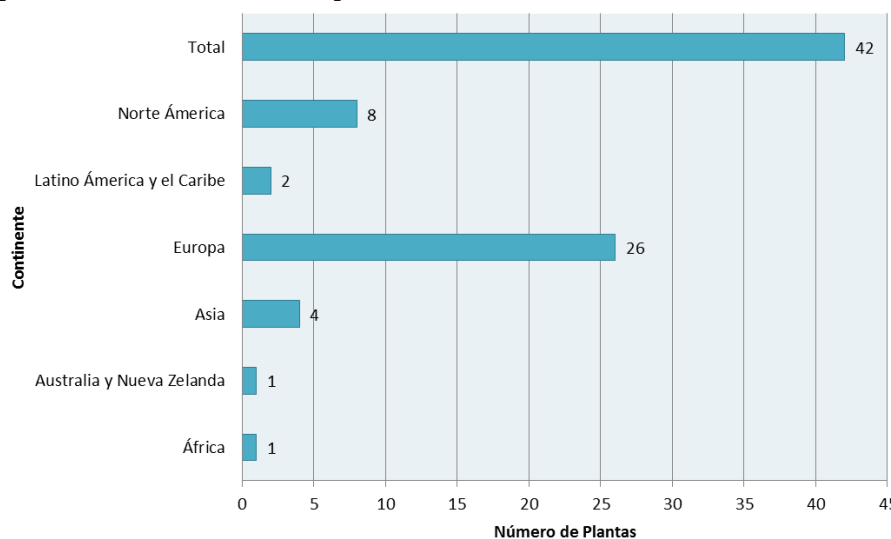
Países	Toneladas Totales Estimadas	Países	Toneladas Totales Estimadas
Brasil	158.000	Nigeria	3.400
Canada	112.496	Marruecos	3.000
España	33.000	Mexico	2.990
Rusia	28.000	Nepal	2.903
Kirguistan	14.285	Tailandia	1.912
Iran	14.200	Belarus	1.500
Estados Uni	13.743	El Salvador	1.367
Colombia	11.287	Chile	885
Perú	10.440	Panamá	457
India	9.837	República D	350
Vietnam	9.639	Irlanda	262
Argentina	8.727	Jamaica	229
Venezuela	8.724	Honduras	196
Ecuador	7.042	Paraguay	158
China	6.000	Camerun	135
Costa Rica	5.500	Tayikistan	83
Ucrania	5.000	Libano	42
Bangladesh	4.652	Jordania	13
Turquia	4.000	Total	484451,5

Fuente: Elaboración propia²⁶.

A nivel mundial existen alrededor de 42 plantas que poseen la capacidad de tratamiento de diferentes tipos de desechos contaminados con PCBs. La mayor parte, específicamente 26 plantas se encuentran ubicadas en Europa mientras las 16 restantes se reparten en varias partes del mundo principalmente en Norteamérica. La **Gráfica 1** muestra la cantidad exacta de plantas por continente.

²⁶ La información para la elaboración de esta tabla fue obtenida de diversas fuentes primarias y secundarias. Algunas de estas fuentes fueron: correos electrónicos a expertos del país correspondiente y páginas web del Convenio de Estocolmo y de diferentes ministerios del medio ambiente de algunos de los países mencionados.

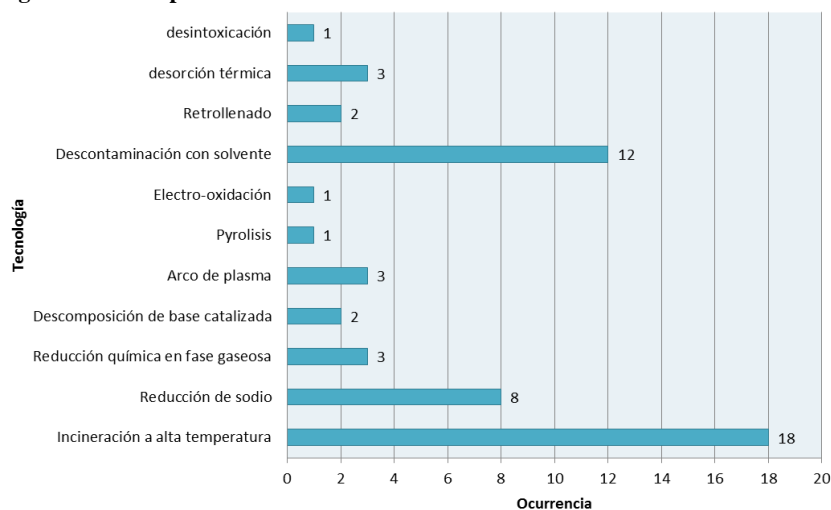
Gráfica 1. Capacidad de destrucción de PCBs por continente



Fuente: Inventory of Worldwide PCB Destruction Capacity, September 2004.PNUMA

La Gráfica 2 muestra las tecnologías empleadas en diferentes plantas (algunas de estas emplean más de una tecnología), donde se aprecia que la mayoría de instalaciones a nivel mundial utilizan la tecnología de incineración, seguido de la descontaminación de solventes.

Gráfica 2. Tecnologías utilizadas para el tratamiento de PCBs



Fuente: Inventory of Worldwide PCB Destruction Capacity, September 2004.PNUMA

En los registros de PNUMA (2004) no se evidencia la existencia de plantas que posean la tecnología de oxidación mediante agua supercrítica.

6.8. CASO DE ESTUDIO: VALORACIÓN DE LA PATENTE

Se pretende hallar el valor de la patente, correspondiente al proyecto de inversión que involucra el tratamiento de PCBs mediante la tecnología de agua supercrítica en países del continente americano como Colombia, Brasil, México y Estados Unidos, ya que son los países en donde la patente actualmente se encuentra adjudicada. Se toma el año 2009 como punto de inicio debido a que en este año se registró la patente, por lo tanto el horizonte durante el cual la patente se encuentra vigente comprende hasta el año 2029.

6.8.1. Perspectiva de Valoración, “Quién”

La perspectiva de valoración es la siguiente: el valor económico de la patente se pretende hallar desde el punto de vista de una empresa, donde la fase de investigación ya se llevó a cabo por parte de una universidad. A partir de ello es necesario continuar con las fases de desarrollo y posteriormente con la explotación de la patente y la tecnología subyacente. Debido a que el objetivo de las universidades no es la industrialización ni generación de riqueza a partir de sus investigaciones, lo que se busca es vender el proyecto en este punto para que corporaciones o empresas que posean la capacidad de inversión en las fases restantes generen los ingresos derivados del proyecto. A cambio de ceder la patente a un ente privado, la universidad podrá obtener ingresos derivados de licenciar la misma.

Se debe tener presente que el valor que se pretende hallar de la patente sería sólo una parte de este, debido a que este proceso tiene el potencial para ampliar su alcance o aplicación al poder descontaminar otros tipos de residuos peligrosos diferentes a los PCBs, sin embargo toma importancia la valoración de la patente empleando como mercado objetivo estos últimos debido a la peligrosidad que representan para el medio ambiente y los seres humanos sumado a la existencia de la normatividad que exige su eliminación antes del año 2028.

En resumen desde este punto de vista el valor de la patente para la empresa estará definido por los beneficios adicionales obtenidos por el proyecto protegido, mientras el valor para la universidad serán los ingresos obtenidos por licenciar la patente a la empresa que la explotará directamente.

6.9. PARÁMETROS DE ENTRADA DEL CASO DE ESTUDIO

6.9.1.1. Mercado

Los países que entran dentro de la valoración como se mencionó son Colombia, México, Brasil y Estados Unidos. Debido a ello es necesario recolectar información acerca de los tamaños de mercado en cada uno de estos países, así en la **Tabla 8** se encuentran registradas las toneladas de aceite contaminado con PCBs para cada uno de estos países.

Tabla 8. Inventario de PCBs en los países objeto de estudio

País	Cantidad de aceite (Toneladas)
Brasil	158.000
México	30.639
Estados Unidos	13.743
Colombia	11.287

Fuente: Elaboración propia

Debido a que los datos de la **Tabla 8** corresponden a datos de tamaño totales de mercado para cada país e igualmente a que se requiere eliminar estos residuos antes del año 2028²⁷, se procedió a asumir que la cantidad de aceite a eliminar por año en cada país corresponde a la división de cada uno de estos valores entre 17 años, que es aproximadamente el tiempo que queda para cumplir con la normatividad. Se asumió que estos valores no comprenden algún margen de error y pueden ser empleados directamente en la valoración.

6.9.1.2. Datos Técnicos

Para realizar la valoración se tomó información estándar de los equipos o transformadores existentes que contienen aceite contaminado con PCBs, esta información se encuentra registrada en la Tabla 9.

Tabla 9. Datos técnicos de la valoración

Datos Técnicos		
Información	Unidad	Valor
Peso promedio de transformador	Kg	450
Contenido promedio aceite en transformador	Kg	135
Cantidad litros aceite contaminado por transformador	L	157
Área por transformador	m ²	0,44
Densidad del aceite	Kg/L	0,86
Porcentaje de aceite en transformador	%	30%
Porcentaje de cobre en el transformador	%	60%
Porcentaje de metal (tanque)	%	10%

Fuente: Inventario preliminar de compuestos bifenilos policlorados (PCB) existentes en Colombia (2007) e Información técnica proporcionada por el investigador Gustavo Bolaños.

Con la información anterior y la correspondiente al tamaño de cada uno de los mercados, es posible obtener los ingresos por kilogramo de aceite tratado además de los ingresos por reciclaje durante el proceso. De acuerdo al análisis del mercado que se efectuó, se estableció un precio de 19 US\$/Kg de aceite contaminado a tratar. Es necesario aclarar que este precio se cobra por la cantidad de aceite contaminado que exista por transformador, contrario al precio establecido en el mercado que oscila alrededor de los US\$ 5 y aplica para el peso total del transformador, incluyendo las partes

²⁷ Parte 2 del Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes.
http://www.pops.int/documents/convtext/convtext_sp.pdf_Consultado el 22 de septiembre de 2011.

metálicas. Aunque sigue siendo un precio elevado se espera que pueda ser disminuido con base en los resultados del desarrollo de la tecnología.

6.9.1.3. Consideraciones y Supuestos Iniciales

En la Tabla 10 se resumen los supuestos y las consideraciones iniciales para llevar a cabo la valoración.

Tabla 10. Consideraciones y supuestos iniciales

Supuesto o dato de entrada	Unidad	Colombia	Mexico	EEUU	Brasil
Inventario directo de aceite contaminado con PCB	Ton	11.287	30.639	13.743	158.000
Inventario directo de aceite contaminado con PCB	Kg	11.287.000	30.639.000	13.743.000	158.000.000
Supuesto de Cantidad de Aceite contaminado a tratar por año	Kg	663.941	1.802.294	808.412	9.294.118
Precio de venta unitario	\$/Kg	19	19	19	19
Incremento precio de venta unitario	%	0,05	0,05	0,03	0,06
Tiempo restante de vigencia de la patente	Años	17	17	17	17
Impuestos	%	33%	30%	34%	30%
Tiempo de Vigencia de la Patente	Años	20	20	20	20
Inflación	%	5,29%	4,51%	2,92%	6,08%
Intereses	% EA	0,00	0,00	0,00	0,00
Días de trabajo al año	Días	350	350	350	350
Horas de trabajo al año	Horas	8.400	8.400	8.400	8.400
Meses por año	Num.meses	12	12	12	12
Horas de trabajo por día	Horas	24	24	24	24
Impuesto del IVA	%	16%	0%	0%	0%
Inversión en Fase de Laboratorio	\$	60.000	0	0	0
Costo Salario inicial	\$/mes	476	476	476	476
Costo unitario dotación e indumentaria	\$/trabajador al año	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00
Costo unitario transporte de tranfo contaminado	\$/Kg	0,20	0,20	0,20	0,20

Fuente: Elaboración propia.

Todos los cálculos de la valoración se realizaron en dólares con el fin de facilitar el manejo de los resultados. El horizonte de tiempo utilizado es de 17 años, el cual es el tiempo restante de la patente en estudio.

Se asumió que el precio de venta incrementaba con la inflación.

6.9.1.4. Inversiones

Para poder acceder a los beneficios de la explotación de la patente, la empresa o empresas que estén interesadas, además de pagar por la licencia de utilización de la patente, deben realizar una inversión en plantas para el tratamiento de estos aceites contaminados. Con ayuda del profesor Gustavo Bolaños, el investigador a cargo del desarrollo de la tecnología subyacente de la patente, se consultó acerca de la información técnica necesaria para continuar con las fases de desarrollo del proyecto. De acuerdo a las necesidades de tratamiento de aceite contaminado anual y el requerimiento de cumplimiento de normatividad del Convenio de Estocolmo, se realizó la estimación de las capacidades requeridas por cada una de las plantas en los diferentes países.

Se tomó como base la información técnica de la planta móvil para el tratamiento de PCBs diseñada por el profesor Víctor Marulanda, a partir de la cual se realizó el escalamiento a cada una de las plantas requeridas por los países en cuestión y se consignó dicha información en la Tabla 11.

Tabla 11. Características por planta

Datos Básicos por Planta	Unidad	Colombia Planta Piloto (Movil)	Colombia Planta Industrial	México Planta Industrial	EEUU Planta Industrial	Brasil Planta Industrial
Capacidad de tratamiento	Horas/Año	6720	8400	8400	8400	8400
Max capacidad de tratamiento unitaria requerida	(L/hora)	1	36,76307732	87,32045144	39,16723666	450,2963976
Cantidad de transformadores tratados por mes	und/mes	3,567407407	163,936093	389,3845316	174,6568627	2007,988381
Capacidad de tratamiento	L/Año	6720	308809,8495	733491,7921	329004,788	3782489,74
Capacidad de tratamiento	Kg/Año	5779,2	265576,4706	630802,9412	282944,1176	3252941,176
Consumo Energía	Kw	108,4947	3988,599045	9473,806182	4249,437591	48854,77257
Consumo Peróxido de Hidrógeno	L/hora	18,5	680,1169305	1615,428352	724,5938782	8330,483356
Consumo Solvente orgánico	L/hora	1	36,76307732	87,32045144	39,16723666	450,2963976
Número de operarios		5	9	25	20	50
Cantidad de plantas requeridas		1	1	1	1	1
Inversión por planta	US\$/planta	\$ 355.240,18	\$ 4.288.261,20	\$ 10.124.575,09	\$ 5.274.896,50	\$ 36.344.136,40

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó el cálculo de las capacidades para cada planta teniendo en cuenta la capacidad máxima requerida a tratar por año, con el fin de cumplir el plazo establecido en el Convenio de Estocolmo de eliminar a más tardar en el año 2028 los inventarios de PCBs de cada país inscrito al convenio, y se tomó un porcentaje anual de dicha cantidad.

Para estimar el valor de cada una de las plantas en los diferentes países en estudio, se empleó una relación logarítmica conocida en el diseño de plantas de ingeniería química como la regla de las Seis-Decimas. De acuerdo con esta regla, si el costo de una unidad o planta es conocido, el costo de una unidad similar con X veces la capacidad de la primera es aproximadamente $(X)^{0.6}$ veces el costo de la unidad inicial, Peters y Timmerhaus (1991). La Ecuación (6.1) representa lo mencionado anteriormente:

$$\text{Costo de equipo A} = \text{Costo equipo B} * \left(\frac{\text{Capacidad Equipo A}}{\text{Capacidad Equipo B}} \right)^{0.6} \quad (6.1)$$

La información detallada de los equipos necesarios para establecer la planta se encuentra registrada en el Anexo 1

6.9.1.5. Costos

Se proyectaron los costos anuales correspondientes para cada una de las diferentes plantas. Estos costos comprenden:

Costos de materias primas (dicloroetano, peróxido de hidrógeno, agua). Estos son costos variables que dependen de la cantidad de aceite contaminado a tratar. El precio del dicloroetano y el peróxido de hidrógeno fueron consultados a través de internet a diferentes fabricantes en China²⁸, sacando un estimado del valor promedio incluyendo los descuentos por el volumen de ventas. El precio de cada una de estas materias primas se proyectó con un incremento anual equivalente a la inflación de cada país.

²⁸ Precio CIF (Costo, seguro y flete) proporcionado por proveedor en China para la entrega en el puerto de Buenaventura del peróxido de hidrógeno. Proveedor contactado Tianjin Henggang Chemical co, Limited Add: 29# Jifeng Street , yanji Road Beicang Town ,Beichen district Tianjin.

Costos de energía (consumo de energía). Al igual que los costos de materias primas, los costos de energía dependen de la cantidad de aceite a tratar, ya que dependiendo de esta cantidad, así mismo serán las horas de utilización al año de la planta. El valor del Kwh para cada uno de los países, se estimó tomando los datos reportados en páginas de entidades relacionadas con la comercialización de energía en cada uno de los países y ajustándolos de acuerdo a la TRM de la moneda correspondiente. Se proyectó el incremento del valor del Kwh para cada país de acuerdo al valor de la inflación registrada en la Tabla 10.

Costos mano de obra (nomina operativa de la planta). Corresponde a la cantidad de trabajadores necesarios para operar la planta durante el tiempo que se requiere. Se estimó un valor del salario mensual promedio para los trabajadores de planta de 476 dólares en el año 2012, posteriormente se proyectó este valor con incrementos de acuerdo a la inflación para cada país.

Costos de Mantenimiento. Los costos de mantenimiento se establecieron en un 7% de la inversión en activos de capital con base anual de acuerdo a Peters y Timmerhaus (1991).

Costos de transporte. Este costo se estimó a partir de la cantidad de kilogramos que se transportaban al año tomando un valor por kilogramo transportado de US\$ 0,2. El precio unitario de transporte se aumentó de acuerdo a la inflación de cada país.

Capital de Trabajo. Sumado a las inversiones en activos fijos como las plantas y su infraestructura, también se tuvo en cuenta el capital de trabajo necesario para comenzar el funcionamiento del proyecto, para los diferentes países Tabla 12 y Tabla 13. La estimación de estos valores se efectuó tomando un valor del inventario de materia prima equivalente a 15 días, un colchón de efectivo igual al 5% de los ingresos, un valor de la cartera por 30 días y un crédito de los proveedores de 30 días, esta información se mostrará más adelante.

Tabla 12. Inversión en variación de capital de trabajo en otros países año 2017

País	Inversión en Variación de Capital de Trabajo
Brasil	\$ 12.531.285,65
México	\$ 2.216.334,44
Estados Unidos	\$ 1.028.331,95

Fuente: Elaboración propia.

Estas inversiones en la variación de capital de trabajo son en los años en que se hace la inversión para establecer las plantas en cada uno de los países diferentes a Colombia, para el caso de Colombia la Tabla 13 corresponde a los años en que se realiza la inversión para establecer la planta piloto (2013) y la planta industrializada (2015).

Tabla 13. Inversión en variación de capital de trabajo en Colombia

Año	Inversión en Variación de Capital de Trabajo
2013	\$ 72.374,43
2015	\$ 1.035.069,79

Fuente: Elaboración propia.

6.9.1.6. Gastos

Gastos Administración y Ventas. Se asumió que corresponden a un 5% de los costos operacionales. Esto debido a que habitualmente los gastos de administración y ventas incluyen el pago de las regalías por explotación de la patente y para este caso el valor de las regalías por explotación de la patente se tiene en cuenta mediante otro cálculo por lo que el gasto de administración y ventas no incluirá este concepto.

Gastos de licencias de patente. Los gastos administrativos de la empresa que explota la patente debe pagar, se estimaron a partir de la investigación realizada por Kemmerer y Lu (2008), en donde evaluaron las tasas de regalías reportadas a lo largo de 14 industrias encontrando que estas representaban un 15% del margen bruto del negocio. Tomando los resultados de esta investigación como información de entrada, se estimó el valor de las regalías del presente proyecto como el 15% del margen bruto del mismo.

Depreciación y Amortización. Este concepto se tuvo en cuenta al momento de las inversiones en activos fijos como las plantas y equipos relacionados. Se asumieron 20 años para la depreciación de este tipo de activos.

Impuestos. Se consultaron los impuestos para el año 2012 en cada uno de los países y se emplearon para la proyección de los flujos de caja.

Capital de Trabajo. Para la estimación de los valores correspondientes al capital de trabajo se tomaron los supuestos consignados en la Tabla 14. Para estos supuestos se tomó como referencia la información suministrada en una cotización de la empresa Lito Ltda.

Tabla 14. Supuestos del capital de trabajo

Concepto	Cantidad de Días
Inventario materia prima	15 días
Cartera	30 días
Crédito de proveedores	30 días
Días de trabajo al año	350 días

Fuente: Elaboración propia

Estímulos Tributarios

El estímulo tributario corresponde a los artículos 158-2²⁹ y Artículo 428 literal f³⁰ ambos del estatuto tributario para el caso de Colombia. Para los demás países no se tuvieron en cuenta estímulos fiscales o tributarios.

6.9.1.7. Tasas de descuento del proyecto

La tasa de descuento a emplear en proyectos que involucran patentes y en especial nuevas tecnologías, es uno de los puntos importantes a tener en cuenta, se debe considerar que este proyecto involucra un nivel de riesgo mayor que el de otras inversiones, debido a la incertidumbre propia de la tecnología, del mercado y de los aspectos macroeconómicos que se relacionan con este.

Se empleó la clasificación realizada por Razgaitis (2009) acerca de las tasas de descuento a emplear en este tipo de valoraciones, identificando inicialmente el estado en el que se encuentra el proyecto en cada uno de los países y se asignó un valor promedio para la tasa de descuento de acuerdo a los rangos propuestos por el autor.

Tasa de descuento Colombia

En Colombia es donde se inicia la etapa de desarrollo del producto, por ello se tienen aún algunos riesgos sobre la tecnología, es decir, que es poco conocida para la aplicación que se piensa dar, aunque sin embargo si se conoce un segmento de mercado con una demanda estimada. De acuerdo con lo anterior en este punto de explotación de la patente se puede clasificar la tasa de descuento como de nivel III, es decir de Alto Riesgo de acuerdo a la clasificación de Razgaitis (2009), con valores que oscilan entre el 30 y el 40 %. Se decidió tomar un valor intermedio de 35% para la tasa de descuento en este país, asumiendo que se mantiene la tasa a lo largo de toda la valoración.

Tasa de descuento México, Brasil y Estados Unidos

Para el año 2018 que es cuando inicia la explotación de la tecnología en otros países, ya se espera tener un nivel mucho menor de riesgo en términos generales, en este punto se puede considerar que la tecnología es conocida y además de que existe una demanda determinada, y en donde incluso se pueden presentar algunas mejoras incrementales en la tecnología. Con base en la clasificación de Razgaitis (2009) se decidió que la tasa de descuento para México, Brasil y Estados Unidos se podría

²⁹ Corresponde a deducciones por Investigación y Desarrollo Tecnológico, en donde las personas que realicen inversiones en proyectos de este tipo, tendrán derecho a reducir de su renta el 175% del valor invertido en dichos proyectos en el periodo gravable en que se realizó la inversión.

³⁰ Corresponde a que las importaciones de maquinaria o equipo que no se produzcan en el país, destinados a reciclar y procesar basuras o desperdicios entre otros, no causaran el impuesto sobre las ventas, es decir, no generan IVA.

ubicar en un nivel de riesgo bajo, con un margen que va desde el 15% hasta el 20%. Por lo que se decidió emplear una tasa de 17,5%.

En el proyecto base se asume que la empresa o empresas que vayan a realizar la explotación de la patente no incurren en préstamos o financiación y por lo tanto no se presentan gastos financieros.

6.9.1.8. Datos Macroeconómicos

Inflación. Para su estimación se tomaron datos históricos de la inflación en cada país y se sacó el promedio de dichos datos. Para Colombia, Brasil y México se tomaron 12 datos mientras que para Estados Unidos se tomaron 30.

TRM. La tasa representativa del mercado para cada país fue tomada de datos correspondientes a finales del mes de enero de 2012 y se asumió constante para el caso base.

Precio del Cobre: Se tomó como referencia el precio anual publicado en el estudio del Grupo de Perspectivas de Desarrollo del Banco Mundial publicado el 17 de enero de 2012³¹. Los datos estaban proyectados hasta el año 2020 en términos de dólares del año 2012, por ello primero se ajustaron los datos de acuerdo a la inflación mencionada anteriormente para EE.UU y a partir de esos datos se empleó la herramienta de pronóstico de series de tiempo de Risk Simulator, donde se obtuvo que el mejor pronóstico era el obtenido a través de suavización exponencial doble, a partir de este se proyectaron los valores hasta el año 2029 y se emplearon en la valoración (Anexo 4).

6.10. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

Con la información de entrada necesaria para iniciar la valoración, sumado al establecimiento de una perspectiva de valoración del proyecto, se procedió a realizar el cálculo de los flujos de caja correspondientes. Para Brasil, México y Estados Unidos se crearon los flujos de caja generados a partir del año 2018, momento en el cual se comienza la explotación directa de la tecnología subyacente en cada uno de estos países.

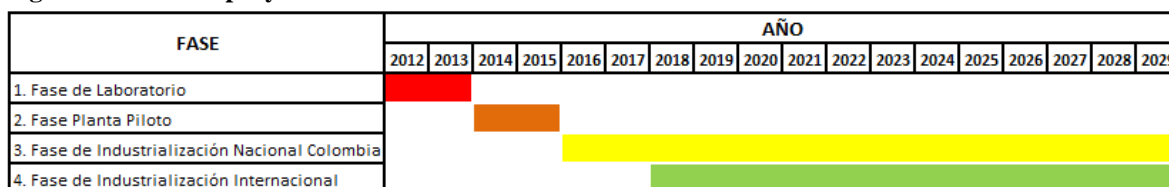
Para el caso de Colombia el proceso es diferente debido que se asume que es en este país en donde con la ayuda de los investigadores creadores de la tecnología, se inicia el proceso de desarrollo por parte de alguna entidad privada. Es así como el proyecto se divide en 4 fases:

- Fase 1. Laboratorio.
- Fase 2. Planta Piloto.
- Fase 3. Planta Industrializada Nacional (Colombia).
- Fase 4. Plantas Industrializadas Internacionales (Brasil, México, Estados Unidos).

³¹ http://siteresources.worldbank.org/INTPROSPECTS/Resources/334934-1304428586133/Price_Forecast.pdf. Fecha de Consulta: 24 de mayo de 2012.

Las duraciones de las fases mencionadas se encuentran consignadas en la Figura 5:

Figura 5. Fases del proyecto de inversión



Fuente: Elaboración propia.

Con la información presentada hasta el momento se procedió a efectuar los flujos de caja para los diferentes países, incluyendo Colombia y las fases de desarrollo requeridas.

6.10.1. Análisis de VPN para el caso base sin flexibilidad

Para realizar el cálculo del VPN de todo el proyecto, se determinaron los flujos de caja para cada uno de los países teniendo en cuenta que el riesgo en cada uno de los proyectos es diferente, se emplearon las diferentes tasas de descuento presentadas en los supuestos de entrada. A partir de dichos resultados se realizó la suma de los VPN de México, Brasil y Estados Unidos además del E(VPN) de Colombia. La razón de estimar el E(VPN) en lugar del VPN tradicional para el caso de Colombia, se debe a la existencia en este país de las fases de desarrollo en donde se tienen en cuenta las probabilidades de éxito en cada etapa, es decir, la incertidumbre tecnológica asociada al proyecto.

Las probabilidades de éxito en cada una de las etapas de la fase de desarrollo se obtuvieron a través de consulta al profesor Gustavo Bolaños, las probabilidades aparecen consignadas en la Tabla 15.

Tabla 15. Probabilidades de éxito de las fases de desarrollo de la tecnología.

Fase	Probabilidad de éxito
1. Laboratorio	50%
2. Planta Piloto	80%
3. Planta Industrializada Nacional	90%

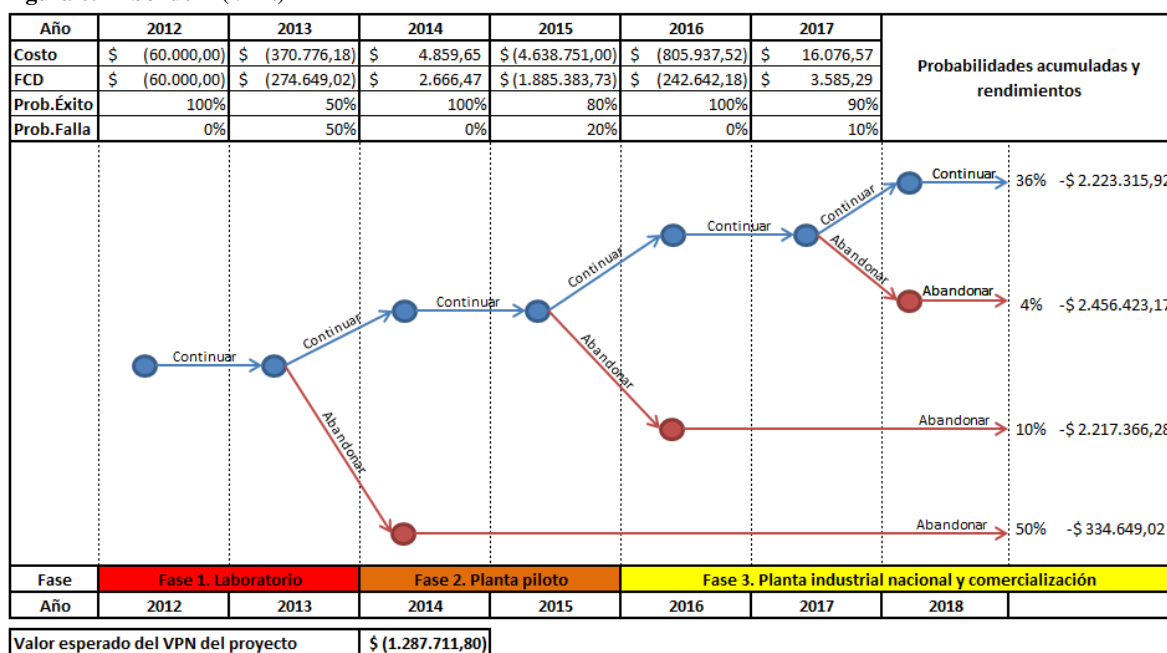
Fuente: Elaboración propia

La fase 4 de plantas industrializadas en otros países no presenta probabilidades de éxito ya que se supone que en este punto la incertidumbre técnica se ha reducido al mínimo y la tecnología ya puede ser aplicada sin ningún inconveniente.

Teniendo la información de entrada se elaboraron los flujos de caja inicialmente para Colombia, en donde se obtuvo como resultado un VPN tradicional de - \$ 2.223.315,92, es decir que ya desde el punto de vista de valoración tradicional el proyecto en el caso colombiano no tendría ningún sentido llevarlo a cabo. Posteriormente tomando como referencia el trabajo realizado por Pabón (2007), se

creó el árbol de probabilidades para calcular el valor del E (VPN) del proyecto en Colombia, el árbol se muestra en la Figura 6.

Figura 6. Árbol de E (VPN)



Fuente: Elaboración propia

Se obtuvo que el valor del E (VPN) fue de - \$ 1.287.711,80, a pesar de que el E (VPN) se aumentó en relación con el valor obtenido a través del cálculo del VPN tradicional, el resultado implica que el proyecto no se llevaría a cabo para el caso de Colombia.

Posteriormente asumiendo el éxito de la tecnología en sus diferentes fases de desarrollo, se procedió a calcular los flujos de caja para Brasil, México y Estados Unidos, estos flujos corresponden a los beneficios obtenidos por la explotación de la patente a partir del año 2018 hasta el 2029, fecha en la cual caduca la patente. Los resultados se encuentran registrados en la Tabla 16. Realizando la sumatoria de los VPN de todos los países se tiene el VPN total del proyecto en estudio, el cual fue de - US\$ 20.466.919,14.

Tabla 16. Resultados VPN de todo el proyecto

País	VPN (US\$)
Brasil	- \$ 14.776.257,86
México	- \$ 2.531.786,68
Estados Unidos	- \$ 1.871.162,80
Colombia	- \$ 1.287.711,80
Total	- \$ 20.466.919,14

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los resultados obtenidos, los inversionistas o empresarios interesados en el proyecto no acometerían ninguna inversión ya que el valor de este no presenta resultados positivos. Sin embargo, lo obtenido a pesar de dar una estimación del valor del proyecto, no refleja la capacidad de la administración para tomar decisiones que busquen maximizar los beneficios de este al tener en cuenta las oportunidades y eventos que se presenten durante su desarrollo. En otras palabras, los modelos del VPN tradicional y el E (VPN) no tienen en cuenta la incertidumbre económica del proyecto (aunque el E (VPN) si tiene en cuenta la incertidumbre tecnológica del proyecto), es decir, el desarrollo y evolución de aspectos macroeconómicos, de negociación, de precios de las materias primas, del servicio mismo, de la aparición de sucesos o eventos catastróficos entre otros, que pueden llegar a influenciar el valor de la patente.

Con el fin de tener en cuenta la incertidumbre asociada al proyecto, ya sea en términos económicos o de incertidumbre tecnológica y hallar un resultado más fiel a la realidad del proyecto, se procedió a emplear la teoría de OR procurando maximizar el valor de este según las decisiones que se pueden tomar a lo largo del desarrollo y posterior explotación de la patente.

Para la realización de la valoración se tomaron como ejemplo diversos trabajos realizados por autores como Pabón (2007), Mascareñas (2006), Dumrauf (2004), Ernts et al (2010), Méndez y Lamothe (2006), entre otros.

6.10.2. Simulación Monte Carlo

De acuerdo con la metodología explicada en el literal 5.7, después de haber realizado la valoración mediante el enfoque tradicional del VPN (tradicional y E (VPN)) es necesario emplear la simulación Monte Carlo con el fin de incluir la incertidumbre en el proyecto y poder estimar el valor de la volatilidad, el cual será un parámetro de entrada para la aplicación de la teoría de OR.

Para iniciar con esta etapa de la valoración se empleó el software Risk Simulator 2011, en donde a través de la herramienta analítica de Análisis de Tornado se identificaron las variables que mayor impacto generaban en el modelo tomando el VPN como el pronóstico de salida (el software realiza la evaluación del impacto al aumentar y disminuir el valor de cada variable en un 10%), Figura 7 y Tabla 17. Los resultados obtenidos muestran que las primeras 10 variables que mayor impacto generan en el modelo son:

- Precio de venta en Brasil
- TRM de Brasil
- El costo por Kwh para Brasil
- El porcentaje de aceite en el transformadores
- El porcentaje de cobre en el transformador
- La inflación en Brasil
- Densidad del aceite
- Precio de Venta Unitario México
- Tiempo restante de vigencia de la patente en Brasil

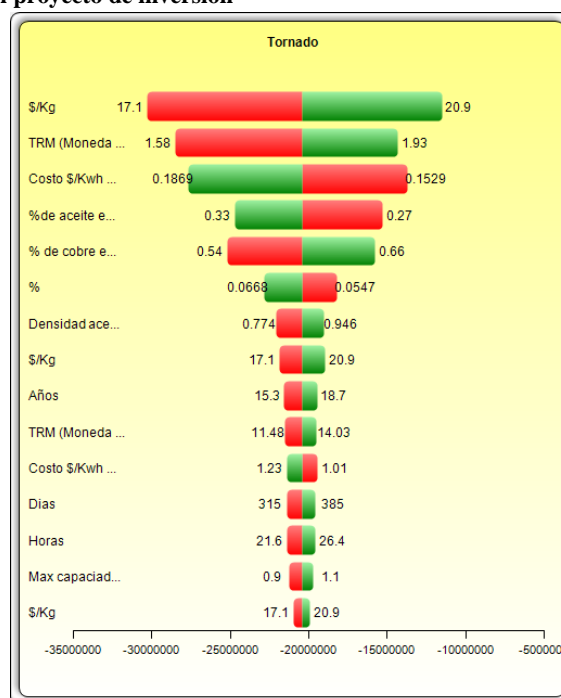
- TRM México
- El costo por Kwh en México
- Días de trabajo al año Brasil
- Horas de trabajo por día Brasil
- Máxima capacidad de tratamiento Colombia
- Precio de venta unitario EEUU

Tabla 17. Resultado del análisis tornado

	Valor Base: -20421740.9205392			Cambio de Ingreso		
Celda Precedente	Resultado Inferior	Resultado Superior	Rango de Efectividad	Ingreso Inferior	Ingreso Superior	Valor Caso Base
I9: \$/Kg	-30295660	-11531639	18764021,11	17,1	20,9	19,0
H56: TRM (Moneda del pais)	-28509302	-14327084	14182217,98	1,575	1,925	1,75
H50: Costo \$/Kwh (Moneda del pais) Interm	-13718749	-27645288	13926539,72	0,152916	0,186897	0,1699065
M10: %de aceite en transformador	-15309606	-24694052	9384445,82	27%	33%	30%
M11: % de cobre en el transformador	-25164949	-15781549	9383399,65	54%	66%	60%
I14: %	-18200903	-22848006	4647103,23	5,47%	6,68%	6,08%
M9: Densidad aceite	-22085097	-19065931	3019165,77	0,774	0,946	0,86
G9: \$/Kg	-21876652	-18966829	2909823,10	17,1	20,9	19,0
I11: Años	-21560866	-19472584	2088282,71	15,3	18,7	17
F56: TRM (Moneda del pais)	-21521529	-19521914	1999614,57	11,475	14,025	12,75
F50: Costo \$/Kwh (Moneda del pais) Interm	-19431932	-21411550	1979617,43	1,005669	1,229151	1,11741
I16: Días	-21410159	-19595889	1814269,52	315	385	350
I19: Horas	-21410159	-19595889	1814269,52	21,6	26,4	24
D35: Max capacidad de tratamiento unitaria	-21251556	-19713685	1537870,57	0,9	1,1	1
H9: \$/Kg	-20963547	-19904669	1058878,54	17,1	20,9	19,0

Fuente: Resultados Risk Simulator 2011.

Figura 7. Análisis tornado del proyecto de inversión



Fuente: Resultados Risk Simulator 2011.

Así de acuerdo a los resultados obtenidos en el Análisis de Tornado se decidió que las variables a las cuales se les asignaría incertidumbre para ver el comportamiento del modelo fueron:

- Los precios de venta de cada uno de los países
- Las tasas TRM de cada uno de los países
- Valor del Kwh para cada país
- Porcentaje de aceite en el transformador
- Porcentaje de cobre en el transformador
- La inflación de todos los países

El paso posterior consistió en la asignación de distribuciones de probabilidad para cada una de las variables señaladas anteriormente. Para llevar a cabo esta etapa se tomó como referencia el trabajo efectuado por Lamothe y Méndez (2006), en donde realizan la valoración de un proyecto de un parque eólico como una opción compuesta con riesgos privados y de mercado. En esta investigación los autores asignan distribuciones de probabilidad a diferentes variables identificadas previamente como de alto impacto en el modelo.

Análisis de las incertidumbres del modelo

Precios de venta para cada uno de los países

El precio de venta se estableció en US\$19 por Kg, para asignar la distribución de probabilidad se realizó una comparación con los precios de servicios similares de otras tecnologías prestados por diferentes empresas y se concluyó que para alcanzar un precio de venta competitivo este podría oscilar entre 17 y 20 dólares por Kg (sacrificando márgenes de ganancia cuando los valores están más cerca del límite inferior), debido a lo anterior se asumió un comportamiento del precio para el año 2012 que sigue una distribución de probabilidad triangular con valor más probable igual a 19 y con valores mínimo y máximo de 17 y 20 dólares el Kg de aceite contaminado tratado, respectivamente. Esta distribución de probabilidad muestra que los valores cercanos del mínimo y máximo son menos probables de ocurrir que aquellos cerca del valor más probables. Se definió así esta distribución de probabilidad para los precios en todos los países analizados en la presente valoración.

Tasas de TRM para cada uno de los países

Se considera el riesgo en el tipo de cambio especialmente porque como los datos del precio del Kwh para los diferentes países se encuentran en el valor de la moneda correspondiente a cada país, y se está trabajando en dólares, al momento de realizar el cambio el valor de la TRM puede variar. Con base en el trabajo de Lamothe y Méndez (2006), se tomaron como referencia los valores de la TRM y respecto a dichos precios se calculó la volatilidad de los rendimientos de cada una de las monedas de los países en estudio. Con la información obtenida y empleando la Ecuación (6.2), a continuación se estimó el valor de la TRM para cada país:

$$C_1 = C_0 e^{\sigma \varepsilon} \quad (6.2)$$

Donde C representa el tipo de cambio o TRM, σ la desviación típica del rendimiento del tipo de cambio y ε es una realización aleatoria de una distribución normal con media 0 y desviación típica 1. Lo que se hace con esta fórmula es asumir un comportamiento normal del tipo de cambio al incluir la realización aleatoria y tener en cuenta la magnitud de los cambios propios de cada moneda al tomar la desviación de datos históricos del comportamiento del tipo de cambio además de incluir el dato real del último valor del tipo de cambio con C_0 .

Valor del Kwh para cada país

Determinar el valor del Kwh puede ser una tarea compleja que requiere tener en cuenta diferentes aspectos como la tecnología de producción de energía, factores climáticos, de comercialización, niveles de consumo, tipo de cliente, entre otros. Con el fin de modelar el valor del Kwh en cada uno de los países se tomó como referencia de nuevo el manejo empleado por Lamothe y Méndez (2006), así se estimó un crecimiento medio del precio de la energía igual a la inflación anual de cada país.

Para el precio base se tomó como referencia el precio del Kwh para energía intermedia en cada uno de los países y se le disminuyó en un 15% debido a la negociación por los altos consumos requeridos, posteriormente se empleó un supuesto de cambios en el precio de $\pm 20\%$. Por lo tanto con base en lo mencionado se asignó una distribución de probabilidad triangular con un valor más probable igual para el valor del Kwh de la energía intermedia y valores máximo y mínimo iguales al aumento y disminución del 20% del precio de energía intermedia establecido.

Porcentaje de aceite en el transformador

Se asumió una distribución de probabilidad normal con valor medía igual al 30% y con una desviación estándar del 3%.

Porcentaje de cobre en el transformador

Se asumió una distribución de probabilidad normal con valor medio igual al 60% y desviación estándar del 6%.

La inflación de todos los países

Para asignar la distribución de probabilidad apropiada para cada país se tomaron las series de datos de la inflación de cada uno de estos, tomando diferentes cantidades de datos debido a condiciones especiales en las políticas de los países en estudio. Así, a continuación se presentan las distribuciones de probabilidad de Colombia, Brasil, México y Estados Unidos.

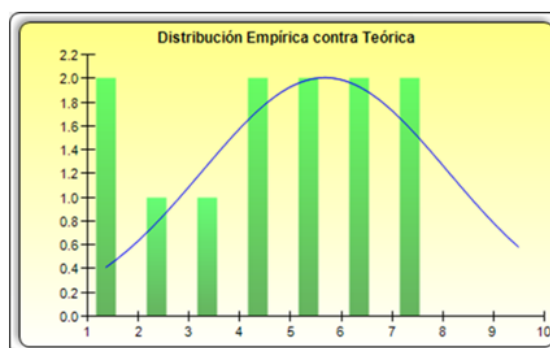
Para estimar las distribuciones de probabilidad de nuevo se recurrió al software Risk Simulator 2011, empleando la herramienta analítica de ajuste de distribución (simple), la cual utiliza las pruebas de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov y Chi-Cuadrado para probar la distribución de probabilidad que mejor se ajusta a los datos.

Colombia

Tomando los datos de la inflación anual para Colombia registrados desde los años 1999 hasta febrero de 2012 y empleando herramienta de ajuste de distribución se encontró que la distribución que mejor se ajustaba a los datos era la distribución normal con media 5,68% y desviación 2,43% tal como se muestra en la Figura 8.

Figura 8. Resultados ajuste de distribución inflación Colombia

Distribución Ajustada Normal		
	Mu	5,68
	Sigma	2,43
Estadístico Kolmogorov-Smirnov		0,08
Prueba Estadística para P-Value		1,0000
	Real	Teórica
Media	5,55	5,68
Desviación Estándar	2,43	2,43
Asimetría	-0,21	0,00
Curtosis	-0,88	0,00



Fuente: Informe de resultados Risk Simulator 2011.

De acuerdo a los resultados, el valor del estadístico de Kolmogorov-Smirnov pequeño indica una proximidad de la distribución empírica con la distribución de probabilidad teórica que en este caso es una distribución normal. Por el lado de la curtosis, el valor obtenido permite deducir que los datos pueden clasificarse como platicúrticos, es decir, que existe una baja concentración de los valores centrales de la variable.

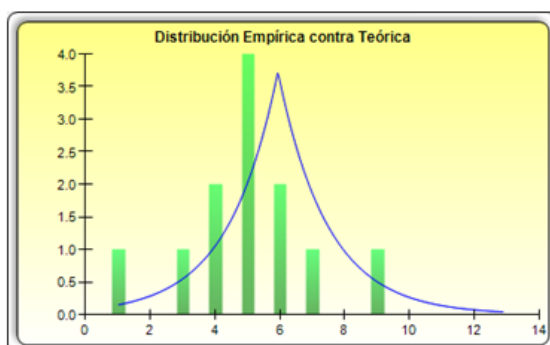
Por lo tanto se tomaron los resultados obtenidos del ajuste de distribución como parámetros para el supuesto de entrada del comportamiento de la inflación en Colombia.

Brasil

Para determinar la distribución de probabilidad que se podría emplear como supuesto de entrada, se tomaron los datos de la inflación a partir del año 2000 hasta febrero de 2012. El ajuste de distribución simple arrojó los resultados consignados en la Figura 9.

Figura 9. Resultados ajuste de distribución inflación Brasil

Distribución Ajustada Laplace		
	Alfa	5,94
	Beta	1,53
Estadístico Kolmogorov-Smirnov		0,12
Prueba Estadística para P-Value		0,9902
	Real	Teórica
Media	6,08	5,94
Desviación Estándar	2,81	2,17
Asimetría	0,61	0,00
Curtosis	1,73	3,00



Fuente: Informe de resultados Risk Simulator 2011.

La distribución que se ajusta a los datos empíricos de la inflación de Brasil es la de Laplace, en donde se muestra una alta concentración de los datos alrededor de la media, y a partir de la cual se toman los datos parámetros Alfa=5,94 y Beta=1,53.

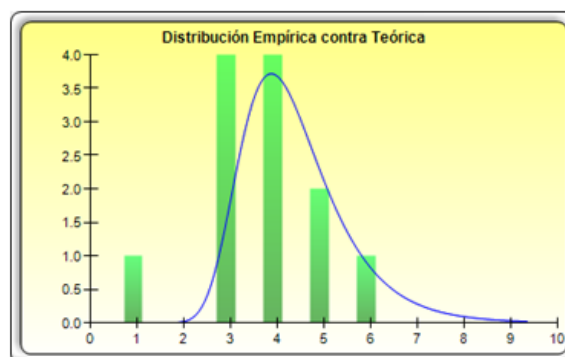
México

Para el caso de México, los datos históricos de la inflación tomados desde el año 2000 hasta el presente, indicaron que la distribución Gumbel Máxima es la que mejor se ajusta a los datos.

Figura 10.

Figura 10. Resultados ajuste de distribución inflación México

Distribución Ajustada Gumbel Máxima		
	Alfa	3,87
	Beta	0,88
Estadístico Kolmogorov-Smirnov		0,11
Prueba Estadística para P-Value		0,9934
	Real	Teórica
Media	4,51	4,38
Desviación Estándar	1,88	1,13
Asimetría	0,72	1,14
Curtosis	2,46	2,40



Fuente: Informe de resultados Risk Simulator 2011.

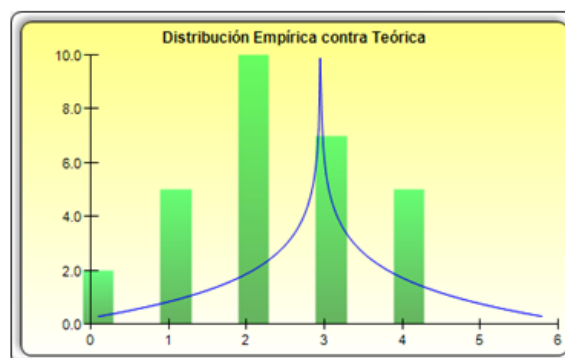
Los datos a utilizar para el supuesto de entrada serán el alfa de 3,87 y el valor de beta de 0,88.

Estados Unidos

Para estimar la distribución de probabilidad de la inflación en Estados Unidos se tomaron los últimos 30 datos históricos anuales, utilizando de nuevo la herramienta de ajuste de distribución simple, se obtuvo como resultado que la distribución de probabilidad que mejor se ajustaba a la distribución empírica de los datos era una distribución Doble Logaritmo con mínimo -0,53 y máximo 6,42. Los resultados se muestran en la Figura 11.

Figura 11. Resultados ajuste de distribución Estados Unidos

Distribución Ajustada Doble Logaritmo		
	Mínimo	-0,53
	Máximo	6,42
Estadístico Kolmogorov-Smirnov		0,07
Prueba Estadística para P-Value		0,9985
	Real	Teórica
Media	2,92	2,95
Desviación Estándar	1,17	1,16
Asimetría	-0,21	0,00
Curtosis	0,27	NeuN



Fuente: Informe de resultados Risk Simulator 2011.

Con base en los resultados obtenidos se introducen el valor mínimo y máximo como supuestos de entrada para el modelo.

Ejecución de la Simulación

Después de haber ingresado los supuestos de entrada mencionados en la sección anterior, se procedió a ejecutar la simulación con 25000 pruebas o corridas para el VPN y de 12736 para los Rendimientos del proyecto.

La volatilidad es uno de los parámetros de entrada para la teoría de OR, por ello es necesaria su estimación antes de proceder con la elaboración de las OR en una valoración. Las maneras de estimar este parámetro son diversas, por ejemplo, en la teoría de opciones a menudo se emplean las volatilidades del rendimiento del mercado de alguna empresa o proyecto similar, sin embargo esto podría conllevar a un error, debido a la dificultad de encontrar un proyecto con las mismas características del que se está valorando. Otra forma de estimar la volatilidad consiste en tomar la volatilidad de los factores que generan el flujo de caja del proyecto, en este caso el de los precios históricos de venta del servicio de tratamiento de transformadores y aceites contaminados con PCBs, sin embargo, utilizar este tipo de factores no reflejarían la total incertidumbre del proyecto, sino sólo una parte de esta.

Como alternativa más viable para la estimación de la volatilidad, Méndez y Lamothe (2006) proponen emplear la hipótesis derivada del “Market Asset Disclaimer, MAD Assumption” desarrollada por Copeland y Antikarov (2001). Según los autores, esta hipótesis ante la carencia de un método eficaz para calcular la volatilidad de proyectos únicos y sin reflejo en el mercado, sugiere utilizar el propio proyecto sin opciones como el mejor estimador del activo negociado. Mun (2002) igualmente hace referencia a esta forma de estimación de la volatilidad y lo clasifica como el enfoque del valor presente logarítmico, y lo resume a través de la siguiente relación logarítmica de la Ecuación (6.3):

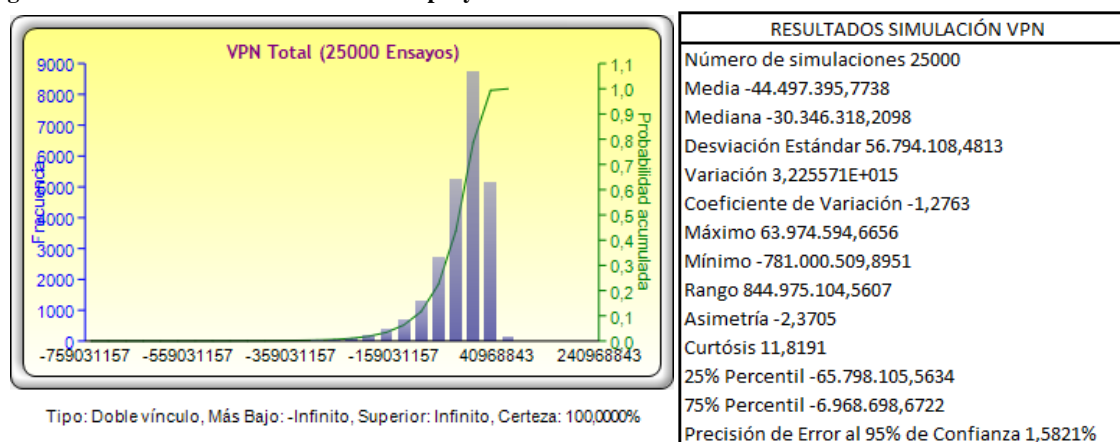
$$X = LN \left(\frac{\sum_{i=1}^n VPFC_i}{\sum_{i=0}^n VPFC_i} \right) \quad (6.3)$$

En donde VPFC es el valor presente de los flujos de caja en los diferentes periodos i . Posteriormente se realizó la simulación de Monte Carlo, de los resultados estadísticos obtenidos se tomó la desviación estándar de la simulación de X como la volatilidad a emplear en el modelo de OR. Tal como lo menciona Mun (2002) al realizar este cálculo a través de la simulación se tuvo presente que el valor del numerador es el que varía mientras el denominador se mantuvo constante.

Los resultados estadísticos del VPN y los Rendimientos (X) del modelo aparecen registrados en las Figura 12 y Figura 13. Por el lado del VPN (Figura 12) se observan datos interesantes, el valor medio del VPN es de US\$ -44.497.395 un valor muy alto en donde de manera definitiva los interesados en el proyecto decidirían no invertir, además de ello, el valor de la desviación estándar es de US\$ 56.794.108 un valor igualmente elevado que desde el punto de vista de las OR, representa un amplio margen de flexibilidad para la toma de decisiones que maximicen el valor del proyecto. La gráfica dentro de la Figura 12 es un histograma de probabilidad que muestra la frecuencia de valores que ocurrieron en los valores simulados y en donde al ver el resultado del

coeficiente de variación se observa que los valores del VPN presentan alta heterogeneidad tendiendo más hacia valores negativos. Es importante resaltar los valores extremos obtenidos en la simulación, donde se muestra que es posible alcanzar valores positivos de hasta US\$ 63.974.594, siempre y cuando se presenten condiciones muy favorables para todo el negocio a lo largo del tiempo, más sin embargo es posible alcanzar pérdidas de hasta US\$781.000.509 si las condiciones que se presentan del negocio son desfavorables. Es necesario aclarar que estos valores son realmente muy poco probables de alcanzar ya que pueden ser considerados incluso como datos atípicos de la valoración.

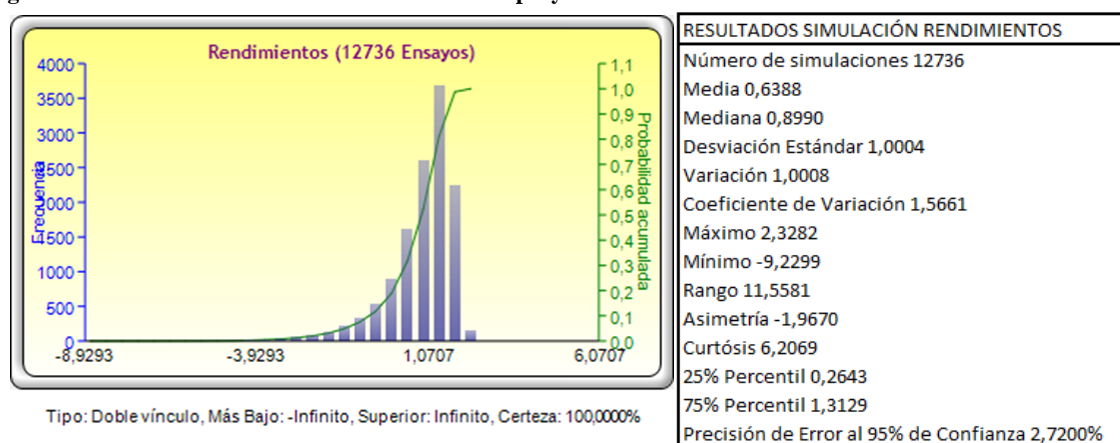
Figura 12. Resultados Simulación VPN del proyecto



Fuente: Informe de resultados Simulación Monte Carlo en Risk Simulator 2011

En la Figura 13 se presentan los resultados de simulación de los rendimientos, el dato de mayor importancia para la valoración mediante OR es el valor de la desviación estándar, la cual dio 100.04%, un valor elevado, lo que indica la posibilidad de maniobrabilidad en la administración y toma de decisiones del proyecto, aspecto importante para la valoración de las OR que se presentará más adelante.

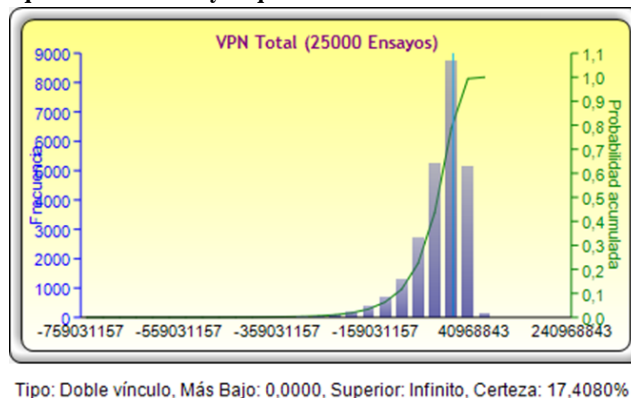
Figura 13. Resultados simulación Rendimientos del proyecto.



Fuente: Informe de resultados Simulación Monte Carlo en Risk Simulator 2011

Realizando algunos análisis de acuerdo a los resultados de la simulación se tiene que la probabilidad de que el valor del proyecto sea mayor que cero es del 17,40% tal como se muestra en la Figura 14. De nuevo se aprecia la tendencia del negocio a generar pérdidas al tener una probabilidad relativamente baja de éxito por así decirlo, pero en donde de todas maneras aún no se ha tenido en cuenta la flexibilidad en la toma de decisiones del proyecto.

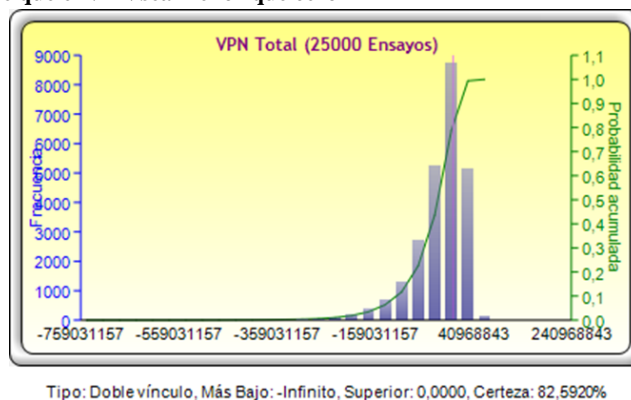
Figura 14. Probabilidad de que el VPN sea mayor que cero



Fuente: Informe de resultados Simulación Monte Carlo en Risk Simulator 2011

El caso contrario, es decir la probabilidad de que el proyecto genere pérdidas es del 82,59 %, **Figura 15.**

Figura 15. Probabilidad de que el VPN sea menor que cero



Fuente: Informe de resultados Simulación Monte Carlo en Risk Simulator 2011

Como se observa para este proyecto es importante tener en cuenta la flexibilidad, es decir, la capacidad de la administración del proyecto para capturar las oportunidades que generan la optimización del valor del proyecto, con el fin de hacer frente a la elevada probabilidad de que se generen pérdidas.

6.10.3. Identificación de las Opciones Reales

En esta etapa de la metodología de aplicación del enfoque de OR para valorar patentes, se va a realizar una identificación de las opciones existentes a lo largo del proyecto, para posteriormente decidir cuáles de estas proporcionan resultados más apropiados y una aproximación más cercana al verdadero valor de la patente.

La parte inicial del desarrollo económico de la patente contempla etapas de I+D en donde toma importancia el desembolso de dinero para inversiones siempre y cuando los beneficios derivados de dicha inversión sean superiores a esta última, de lo contrario no valdrá la pena invertir o continuar con el proyecto y será más factible abandonarlo, esta característica será determinante para la selección de la opción real que mejor se ajusta a la realidad del proyecto.

Opción de diferir durante cualquiera de las fases del proyecto. Esta opción trata del aplazamiento de inversión y es aplicable en casos en que no se conoce con certeza los flujos de caja que se podrían generar por el proyecto, ya sea por un desconocimiento acerca del mercado o porque se posee un horizonte de inversión a largo plazo que permite esperar algún tiempo para conocer la situación actual del entorno en el que se desarrollará la comercialización del producto o servicio vinculado con la patente. Esta opción puede llegar a tener valor, si por ejemplo se tiene conocimiento del mejoramiento del entorno en el que se desempeñará la patente en un futuro, valdría la pena esperar a realizar la inversión con el fin de aprovechar los cambios generados. A manera de ejemplo esto podría ocurrir cuando es posible que se realicen cambios a nivel legal o de normatividad, así como tratados comerciales o situaciones que beneficien el valor de la patente. Para el caso de la patente que se está valorando, no resulta muy valiosa esta opción de diferir, las razones se deben a que ya existe la normatividad para trabajar en el tema de eliminación de PCBs a nivel mundial, existen diversas empresas que están dedicadas al tema de descontaminación de aceites contaminados con PCBs, al igual que la patente actual presenta vigencia hasta el año 2029.

Opción de abandono antes de iniciar la fase de planta piloto. La empresa u entidad que desee explotar la patente y que la adquiera en estos momentos deberá continuar con el trabajo faltante de desarrollo de la misma. El trabajo faltante incluye el desarrollo de una planta piloto con el fin de continuar con el proceso de investigación y minimizar la incertidumbre tecnológica asociada al proceso, así como procurar la reducción de costos y gastos durante el tratamiento de estos aceites contaminados. Sin embargo, la empresa que se encuentre desarrollando esta investigación posee también la opción de abandonar el proyecto en caso de que no resulte beneficioso para sí continuar, renunciando de esta manera a los beneficios futuros que se generarían por poseer la licencia sobre la explotación de la patente. La opción de abandono se considera una opción de venta, en donde el precio de ejercicio corresponde al valor de liquidación del activo, que en este caso corresponde al valor de venta o liquidación de la patente, mientras el valor del subyacente son los beneficios generados por la explotación de la patente. Esta opción de abandono toma relevancia al momento en que los flujos de caja generados por la patente no son los suficientemente altos como para superar el valor de liquidación de la patente o cuando estos flujos de caja no superan las inversiones realizadas

en la fase previa y resulta mejor económicamente el abandono del proyecto con el fin de no continuar generando pérdidas.

Opción de abandono antes de iniciar la Fase de Planta Industrializada. Antes de comenzar esta fase ya se tiene un conocimiento acerca del desarrollo del proceso, es decir la incertidumbre tecnológica se ha reducido y se conoce si es posible continuar o no con el proceso en una planta industrializada. En caso de que no resulte factible continuar con el proceso, debido a que los costos de inversión resulten demasiado altos en comparación con los flujos generados, la empresa que posea la licencia sobre la patente podrá retirarse o abandonar el proyecto, esta decisión de abandono posee un valor que afecta finalmente el valor de la patente.

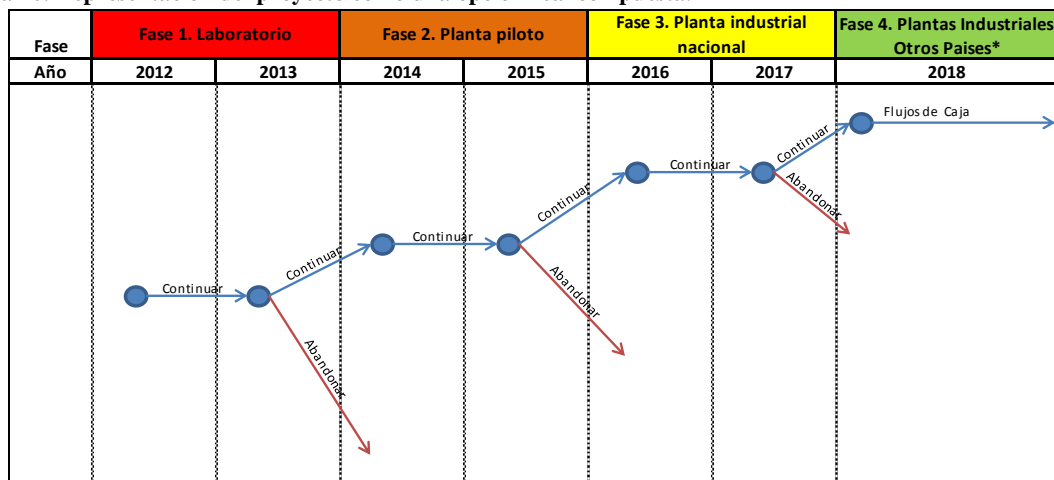
Opciones de crecimiento o ampliación del proyecto. Las opciones de crecimiento en este caso son diversas debido al potencial de negocio en diferentes países alrededor del mundo. Se debe en parte a la existencia del Convenio de Estocolmo y la propia peligrosidad de los PCBs y residuos contaminados con estos, muchos gobiernos están buscando la manera de generar conciencia en la eliminación de estos residuos. Cada uno de estos países presenta un potencial de negocio que se traducen opciones de crecimiento al incursionar en algunos de estos países. Estas opciones de crecimiento se tratan de opciones de compra, en donde el activo subyacente corresponde a los flujos de caja generados por la ampliación del proyecto, mientras que el precio de ejercicio se relaciona con la inversión necesaria para hacerse con estos flujos de caja, es decir, los costos necesarios para establecer las plantas o infraestructura para el tratamiento de los aceites contaminados en el país que correspondería a la ampliación del proyecto que haría la organización que tiene la licencia sobre la patente. En estas opciones tomaría más importancia tener en cuenta aquellos países que presentan altos niveles de inventario de transformadores contaminados con PCBs, entre los países que pueden presentar mayor importancia se tienen Estados Unidos, México, Brasil, China, India, Canadá, entre otros. Debido a la vigencia actual de la patente en México, Brasil, Estados Unidos y Colombia, estos serán los únicos países que se tendrán en cuenta en la presente valoración.

Opción Compuesta. Otra de las opciones que se presenta en el presente proyecto, es la opción compuesta, esto debido a la estructura del proyecto compuesta por diferentes fases donde cada una de estas presenta una opción que al ser ejercida genera otra opción y el acceso a la siguiente fase. La opción compuesta parece reflejar de manera más apropiada el proyecto de inversión objeto de valoración en esta investigación ya que cada una de las fases posee una opción que permite continuar con la siguiente y en las últimas fases permite el crecimiento del negocio. De la misma manera se debe tener en cuenta que al presentarse dos tipos de incertidumbre como lo son la incertidumbre de los flujos de caja generados (económica) y la incertidumbre tecnológica asociada al proyecto en sus inicios, esta opción compuesta toma la forma de una opción arcoíris por manejar diferentes tipos de incertidumbre.

Esta opción presenta una serie de etapas de desarrollo y finalmente una opción de expansión u opción de compra sobre los beneficios derivados del tratamiento de transformadores contaminados con aceites en Brasil, México, Estados Unidos y Colombia. La Figura 16 es una representación de la opción compuesta del proyecto. Las opciones que se presentan a lo largo del proyecto son: de continuación con el desarrollo del proyecto hasta la etapa de explotación en donde se obtienen los

flujos de caja derivados, el abandono del proyecto justo antes de avanzar a la siguiente etapa con el fin de evitar pérdidas y por último una opción de compra para acceder a los beneficios de explotar la patente en los demás países.

Figura 16. Representación del proyecto como una opción real compuesta.



* Los países a parte de Colombia en donde se piensan establecer las plantas industrializadas para satisfacer la demanda interna son: Brasil, México y Estados Unidos

Fuente: Elaboración propia.

6.10.4. Modelación y análisis de las Opciones Reales

En este punto de la valoración ya se tiene conocimiento de las OR que representan de mejor manera el proyecto, así como la volatilidad del mismo y demás parámetros a utilizar en la aplicación de esta teoría.

Para iniciar la modelación de las OR se requiere del valor del activo subyacente, este es el valor actual de los flujos de caja derivados por la explotación de la patente después de la fase de lanzamiento en Brasil, México, Estados Unidos y Colombia³² (sin tener en cuenta las inversiones necesarias para cada país, estas se utilizarán más adelante al estimar el valor de las opciones). El valor obtenido del activo subyacente fue de \$ 11.090.502,71 el cual es la sumatoria de los flujos de caja originados en cada año por cada uno de los países a partir del año 2018 momento en que se comienza a explotar la patente en todos estos. La Ecuación (6.4) resume lo dicho anteriormente, donde se tiene que n representa cada uno de los países y m son los 17 años que se tienen para explotar la patente.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m VPFC_{ij} \quad \forall n = 1, 2, \dots, 4 \text{ y } \forall m = 1, 2, \dots, 17. \quad (6.4)$$

³² Para el caso de Colombia se asumió la explotación a partir del año 2018 de la misma manera que se hizo con los demás países con el fin de simplificar los cálculos.

Con dicho valor inicial del activo subyacente es posible comenzar a modelar la evolución del valor del activo subyacente o árbol de eventos.

El valor de la tasa libre de riesgo, necesario para el cálculo de la evolución del valor del activo subyacente, representa el retorno esperado sobre un activo que los inversionistas perciben de riesgo mínimo o nulo, para ello se tomó como referencia el rendimiento ofrecido por los Bonos del Tesoro de los Estados Unidos a un plazo de 20 años³³.

Empleando las Ecuaciones (5.6) a la (5.9) y tomando los parámetros de volatilidad, tiempo, periodos y tasa libre de riesgo anual descritos en la Tabla 18 se procedió al cálculo del parámetro de alza u , de baja d y las probabilidades de alza y baja p y q respectivamente, consignadas en la misma tabla. El tiempo de 6 corresponde a los 6 años durante los cuales el proyecto estará en la fase de I+D y tendrá vigencia la opción compuesta que irán desde el año 2012 hasta antes del 2018. Los periodos hacen referencia a los intervalos de tiempo que se están utilizando en la valoración, que para este caso son intervalos anuales y es por ello que presentan la misma magnitud del tiempo.

Tabla 18. Parámetros para el cálculo del árbol binomial

Parámetros para cálculo del árbol binomial	
Parámetro	Valor
Volatilidad de los retornos del activo subyacente (σ)	1,0004
Tiempo (T)	6
Periodos (n)	6
r_{anual}	2,96%
r_f	3,00%
u	2,719369359
d	0,367732319
p	0,281637899
q	0,718362101

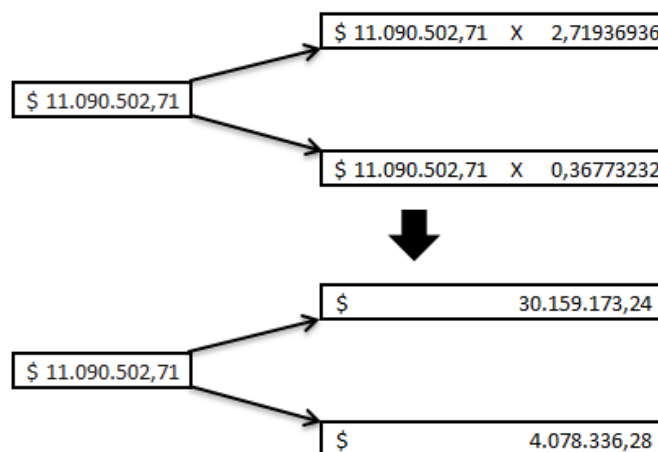
Fuente: Elaboración propia.

Iniciando con el valor del subyacente S_0 hallado previamente de \$ 11.090.502,71 se aplicaron los parámetros de alza y baja para cada periodo u y d , de esta manera se calculó el árbol binomial en

³³ <http://www.treasury.gov/resource-center/data-chart-center/interest-rates/Pages/TextView.aspx?data=longtermrate>. Fecha de consulta: Martes 27 de marzo de 2012.

donde se muestra la evolución del valor del activo subyacente, para ello se mostrará el cálculo de la evolución del activo subyacente en el año 2013 a manera de ejemplo (Figura 17) teniendo que:

Figura 17. Cálculo del valor del activo subyacente para el año 2013.



Fuente: Elaboración propia.

El cálculo completo del árbol binomial se muestra en la Figura 18.

Después de haber estimado la evolución del activo subyacente se procede a iniciar el cálculo de los saldos al final del árbol anteriormente calculado, en esta parte de la valoración se procura maximizar el valor de los beneficios obtenidos desde el inicio de la fase de lanzamiento hasta el vencimiento de la patente. El cálculo que se realizó en el nodo final del árbol consiste en el descrito en la Ecuación (6.5). De acuerdo con esta fórmula, se realizó la comparación entre el saldo originado por la resta de la inversión necesaria en el año 2017 al flujo de caja generado de ahí en adelante y 0, el cual es el valor que como máximo un inversionista estaría dispuesto a perder, es decir que si en ese caso la inversión requerida es mayor que los flujos de caja generados, resulta mejor no invertir en el proyecto y ahorrarse los gastos presupuestados, dando viabilidad a utilizar ese dinero en otro proyecto. Este cálculo se realiza para cada una de las ramas finales del árbol (Figura 19).

$$\cdot \quad \quad \quad \mathbf{MAX_{2017}(VPFC_{2017} * PROB_{2017} - I_{2017}; 0)} \quad \quad \quad \mathbf{(6.5)}$$

Como ejemplo de uso de la ecuación anterior se presenta el valor del primer nodo de arriba hacia abajo del árbol de eventos así:

$$MAX_{2017}((\$ 1.649.271.790,19 * 90\%) - \$ 67.532.422,98 ; 0)$$

$$MAX_{2017}(US\$ 1.416.812.188,19 ; 0)$$

$$MAX_{2017} = US\$ \$ 1.416.812.188,19$$

Tomando los resultados obtenidos se procede a retroceder (cálculo recursivo) en el árbol calculando el valor del proyecto a través de la Ecuación (6.6) empleando las probabilidades neutrales al riesgo

de alza y baja, descontando a la tasa libre de riesgo y comparando dicho valor con cero. En los años en donde es necesario tomar decisiones de acuerdo a los resultados de desarrollo de la tecnología, existen las probabilidades de éxito, en dichos casos el cálculo es el mismo pero se tienen en cuenta la probabilidad de éxito de la fase correspondiente, la Ecuación (6.7) muestra el cálculo que se realizó para el determinar el valor en el año 2015.

$$MAX_{2016} \left(\frac{(MAX_{2017UP} * p + MAX_{2017DOWN} * q)}{(1 + r)} - I_{2016}; 0 \right) \quad (6.6)$$

$$MAX_{2015} \left(\left(\frac{(MAX_{2016UP} * p + MAX_{2016DOWN} * q)}{(1 + r)} \right) * PROB_{2015} \right) - I_{2015}; 0 \quad (6.7)$$

De la misma forma y empleando cada una de las ecuaciones de ejemplo dependiendo de las inversiones requeridas y la probabilidad de éxito en cada fase de desarrollo, se llegó hasta el valor del proyecto en el año 2012 teniendo en cuenta la flexibilidad asociada en las diferentes fases del proyecto. El resultado obtenido fue de US\$ 1.246.087,99, es decir que teniendo en cuenta la flexibilidad del proyecto, este tomaría un valor positivo al tener en cuenta la opción compuesta a lo largo del tiempo evaluado. En la Tabla 19 se muestra la representación completa de la evolución del activo subyacente, así como el desarrollo del valor del proyecto y la elección a tomar en cada periodo. Como se mencionó al inicio de la presente investigación, el valor de una patente teóricamente se estima como el valor de la tecnología patentada menos el valor de la tecnología sin la protección de la patente, sin embargo al igual que Murani y Oriani (2011) lo mencionaron, en procesos de estimación de los límites inferior y superior para la venta o compra de patentes, el valor de estas debe ser el valor total de la tecnología patentada y no únicamente el valor del derecho legal debido a las dificultades de hallar la información correspondiente en los casos de ausencia de patente para protección de la tecnología. Con base en lo anterior se resume el resultado obtenido en el presente apartado empleando la Ecuación (4.2):

$$V_{PATENTE} = \text{Valor de la tecnología patentada}$$

$$V_{PATENTE} = \text{US \$ 1.246.087,99}$$

Se debe recordar que este es el valor de la patente tomando como perspectiva de valoración la empresa o empresas interesadas en explotar directamente la tecnología, es decir, es el valor que la patente representa para estas empresas y no es directamente el valor que estas pagarían al dueño de la patente, el cual correspondería al precio de la misma.

Tomando el resultado hallado del valor de la patente, se pudo determinar el valor de la opción compuesta del proyecto de la siguiente manera:

$$\text{Valor Opción} = \text{Valor del proyecto (patente) con flexibilidad} - \text{Valor del proyecto sin flexibilidad} \quad (6.8)$$

$$\text{Valor Opción} = \text{US\$ 1.246.087,99} - \text{US\$ (- 20.466.919,14)}$$

Valor Opción = US\$ 21.713.007,13

Por lo tanto el valor de la opción es de aproximadamente 21,7 millones de dólares, lo que indica que la flexibilidad y maniobrabilidad en la toma de decisiones, representado principalmente por la posibilidad de abandonar el proyecto durante alguna de las fases de desarrollo y sumado a la opción de ampliar el proyecto al invertir en otros países. Es importante mencionar que aquí no se tienen en cuenta algunas otras opciones como la ampliación a otros países diferentes a los del análisis, entre ellos China, Canadá, India por mencionar los de mayor interés en la industria de descontaminación de residuos que contienen PCBs, además de la opción de ampliación del alcance al emplear la tecnología para descontaminar otro tipo de residuos tóxicos, por lo que el valor del proyecto podría llegar a alcanzar valores mayores a los aquí presentados.

Figura 18. Árbol binomial del proyecto

Valor del Subyacente S_0	\$ 11.090.502,71					
Probabilidad de éxito	100%	50%	100%	80%	100%	90%
Fase	Fase 1. Laboratorio		Fase 2. Planta piloto		Fase 3. Planta nacional	
Año	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Binomial	\$ 11.090.502,71	\$ 30.159.173,24	\$ 82.013.931,58	\$ 223.026.172,53	\$ 606.490.539,77	\$ 1.649.271.790,19
		\$ 4.078.336,28	\$ 11.090.502,71	\$ 30.159.173,24	\$ 82.013.931,58	\$ 223.026.172,53
			\$ 1.499.736,06	\$ 4.078.336,28	\$ 11.090.502,71	\$ 30.159.173,24
				\$ 551.501,42	\$ 1.499.736,06	\$ 4.078.336,28
					\$ 202.804,90	\$ 551.501,42
						\$ 74.577,91

Fuente: Elaboración propia.

Figura 19. Cálculo recursivo del valor del proyecto

Arbol para el cálculo del valor del proyecto						
Probabilidad de éxito	100%	50%	100%	80%	100%	90%
Inversión requerida	Inversión fase laboratorio	Inversión planta piloto		Inversión planta nacional		Inversión plantas otros países
Año	2012	2013	2014	2015	2016	2017
	\$ 1.246.087,99	\$ 4.776.793,39	\$ 35.332.291,71	\$ 120.735.278,88	\$ 480.278.727,69	\$ 1.416.812.188,19
		\$ -	\$ 909.733,09	\$ 3.327.193,15	\$ 36.417.597,41	\$ 133.191.132,30
			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
				\$ -	\$ -	\$ -
					\$ -	\$ -
						\$ -

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19. Resumen del valor del proyecto y recomendaciones del modelo de decisiones a tomar

Tipo de Fase	Fases de Desarrollo				Fases de Explotación	
Fase y probabilidad de éxito	Inversión fase laboratorio	50% Inversión planta piloto		80% Inversión planta nacional		90% Inversión plantas otros países
Años	2012	2013	2014	2015	2016	2017
						\$ 1.649.271.790
						\$ 1.416.812.188
						Continuar
					\$ 606.490.540	
					\$ 480.278.728	
					Continuar	
				\$ 223.026.173		\$ 223.026.173
				\$ 120.735.279		\$ 133.191.132
				Continuar		Continuar
			\$ 82.013.932		\$ 82.013.932	
			\$ 35.332.292		\$ 36.417.597	
			Continuar		Continuar	
		\$ 30.159.173		\$ 30.159.173		\$ 30.159.173
		\$ 4.776.793		\$ 3.327.193		\$ -
		Continuar		Continuar		Abandonar
	\$ 11.090.503		\$ 11.090.503		\$ 11.090.503	
	\$ 1.246.088		\$ 909.733		\$ -	
	Continuar		Continuar		Abandonar	
		\$ 4.078.336		\$ 4.078.336		\$ 4.078.336
		\$ -		\$ -		\$ -
		Abandonar		Abandonar		Abandonar
			\$ 1.499.736		\$ 1.499.736	
			\$ -		\$ -	
			Abandonar		Abandonar	
				\$ 551.501		\$ 551.501
				\$ -		\$ -
				Abandonar		Abandonar
					\$ 202.805	
					\$ -	
					Abandonar	
						\$ 74.578
						\$ -
						Abandonar
Inversión	\$ 60.000	\$ 370.776		\$ 4.638.751		\$ 67.532.423
Convención	Significado					
Valor Subyacente	Valor actual o valor presente de los flujos de caja generados por el proyecto después de 2017 (realizar inversiones en el exterior).					
Valor Proyecto	Es el valor del proyecto teniendo en cuenta la opción compuesta ubicada a lo largo del horizonte de tiempo.					
Decisión	Decisión en el momento de tiempo señalado, de acuerdo a la comparación entre el valor del subyacente y el costo de acceder a este.					

Fuente: Elaboración propia.

6.10.5. Valor de la patente para la universidad

Como se mencionó en el punto anterior, el valor por el cual una organización estaría dispuesta a pagar por adquirir la patente propiedad de la universidad no sería directamente el valor hallado, ya que ese sería el valor desde el punto de vista de la empresa, en cambio para llevar a cabo alguna negociación con la universidad se debe tener en cuenta el valor de la patente desde el punto de vista de esta última. Como lo menciona Pugatch (2005) el valor de un activo de propiedad intelectual como lo es una patente tiene diferentes valores dependiendo de las perspectivas de valoración, y afirma de igual manera que el valor de la patente para el dueño o poseedor de la misma pueden ser los ingresos totales que le generaran a este último.

Tomando el punto señalado anteriormente acerca de la perspectiva de valoración, se tiene que el valor de la patente para la universidad estaría dado por los flujos de caja originados por la licencia adjudicada a la empresa o empresas que exploten la patente. De esta manera los ingresos obtenidos como el VP de los flujos de caja generados por el concepto de licencias para la universidad es de US\$ 8.774.724,45 (Anexo 2), empleando una tasa de descuento del 17,5%. La utilidad de este valor como se mencionó al inicio del literal corresponde a su utilización como punto de partida para los procesos de negociación de la patente, ya sea para la licencia o venta de la patente. La relación de este valor de negociación con el valor de la patente como tal hallado en el literal 6.10.5 trata de que

dependiendo de si el valor de la patente hallado mediante OR resulta ser lo suficientemente valioso para la empresa(s) interesada(s), esta última así mismo decidirá invertir el valor de la patente hallado desde el punto de vista de la universidad, es decir en invertir los US\$ 8,7 millones pagándolos de acuerdo a lo establecido en las negociaciones que se logren concretar.

6.10.6. Análisis de Resultados

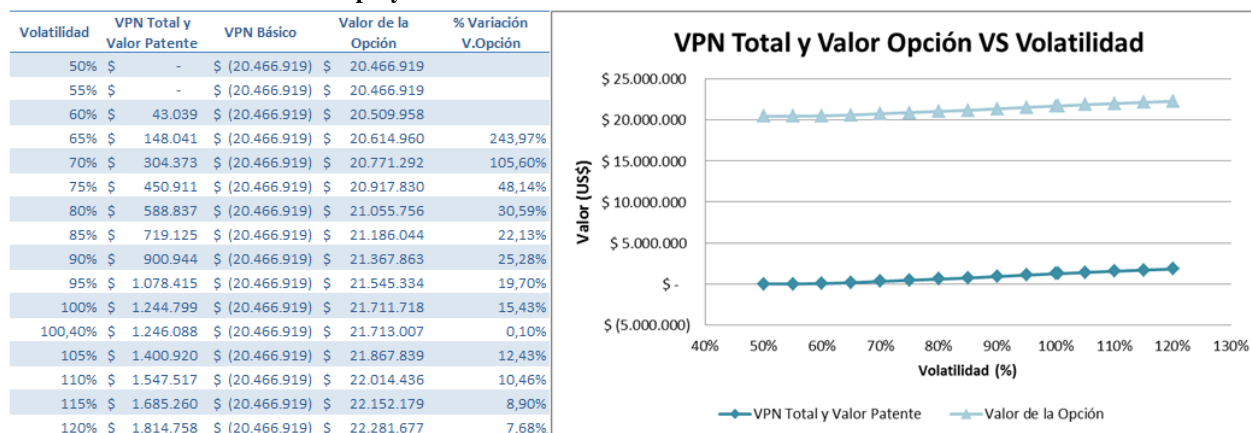
Se obtuvo el valor de la patente teniendo en cuenta dos puntos de vista, por un lado la perspectiva de una empresa o empresas interesadas en la explotación de este tipo de proyectos, y por otro lado el punto de vista de la universidad que desarrolla la tecnología protegida a través de la patente. Ambos valores resultan ser muy diferentes entre sí, por lo que es necesario tener presente que son utilizados para diferentes fines. En ocasiones se puede llegar a pensar que el valor de la patente desde el punto de vista de una empresa, así como el que se halló mediante las OR es el valor que se debería tener en cuenta para negociar la patente, sin embargo este valor tiene en cuenta aspectos por los cuales la universidad no debería asumir determinados riesgos y que hacen que este presente una menor magnitud, se tiene que este valor incluye la incertidumbre operativa del proyecto, del manejo propio de cada uno de las plantas, de la administración, de las materias primas del proyecto e incluso de la inversión misma de la empresa para establecer la infraestructura que permite explotar la tecnología. El fundamento principal para sostener la afirmación anterior, radica en que la universidad ya llevó a cabo toda una inversión en investigación, representada principalmente por la dedicación de los investigadores a lo largo de varios años en la obtención del conocimiento implícito en la tecnología, además de las inversiones en pruebas de laboratorio y otros requerimientos de apoyo para llevar a cabo este tipo de investigaciones.

En la Tabla 19 se puede apreciar el proceso de evolución del activo subyacente, el valor del proyecto incluyendo el valor de la opción compuesta y por último la decisión que se debería tomar en cada una de las circunstancias que se podrían presentar durante el desarrollo del proyecto. Esta tabla permite además de resumir los resultados obtenidos, apreciar parte del comportamiento del proceso en los diferentes puntos del tiempo, basándose en las decisiones de abandono o continuación que se presentan. Durante las primeras inversiones a realizar en los años 2012 y 2013, se puede apreciar que las decisiones a tomar sugeridas por el modelo son de continuación en la Fase 1, esto indica que aunque esta etapa es de desarrollo y contiene cierto nivel de incertidumbre técnica o tecnológica asociada a los resultados obtenidos en la investigación, realmente no afecta la continuación de proyecto, contrario ocurre con la Fase 2, en donde la evolución del proyecto suministra información de abandono del mismo. Igualmente, los resultados permiten inferir que la incertidumbre que mayor efecto tiene sobre el proyecto es la asociada al mercado, como se mencionó anteriormente, aquella proveniente a variables del mercado, materias primas y la economía en general. El fuerte impacto de la incertidumbre de mercado resalta un requerimiento especial en caso de que el proyecto se decidiera llevar a cabo, este hace referencia a la necesidad de toma de decisiones estratégicas sobre todo en aquellas fases de explotación de la patente, lo que se traduce en la necesidad de contar con equipos de gestión administrativa que posean un buen conocimiento del mercado y con capacidad de tomar decisiones en los momentos precisos.

Con el fin de vislumbrar cuál sería el comportamiento del modelo desarrollado ante cambios eventuales en algunas de sus variables, se procedió a evaluar la Volatilidad, el Precio de Ejercicio, la Tasa Libre de Riesgo, el Valor del Subyacente y la tasa de descuento, de esta manera se presentaron distintos escenarios al variar cada una de estas.

La Volatilidad presenta la facultad de resumir la incertidumbre de diversos aspectos del proyecto en un solo valor. En este caso esta tiene en cuenta principalmente la incertidumbre del mercado del proyecto desde diversas perspectivas, ya sea en el valor de las materias primas, el comportamiento de variables macroeconómicas, el precio de venta entre otras. El comportamiento del valor del proyecto al variar la volatilidad refleja el hecho de que a mayor nivel de volatilidad, mayor valor tendrán las OR y por lo tanto mayor valor del proyecto y la patente como tal. Esto indica que dependiendo del nivel en el que se encuentre la volatilidad del proyecto, los encargados de la toma de decisiones tendrán un determinado margen de maniobra sobre el cual actuar, tal como lo muestra la Gráfica 3, en donde se evaluó el posible efecto sobre el valor del proyecto en un rango de variación de la volatilidad que va desde el 50% hasta el 120%. Los datos evaluados muestran un comportamiento esperado de acuerdo con la teoría de OR señalada por Mascareñas (2005), en donde a mayor volatilidad mayor será el valor de las OR y por lo tanto el valor del proyecto, sin embargo, es observable también que a medida que va aumentando la volatilidad, el incremento porcentual del valor de la opción se va reduciendo, pasando del 243,97% hasta llegar al 7,68% en los valores extremos evaluados (Gráfica 3), esto indica que a mayor volatilidad menor es el efecto que va teniendo esta sobre el valor de las opciones, lo que será de utilidad desde el punto de vista estratégico para decidir si es conveniente estar ubicado bajo ciertos valores de volatilidad o procurar minimizar esta última con el fin de capturar un mayor valor de las opciones.

Gráfica 3. Evolución del valor del proyecto de acuerdo a la variación en la volatilidad

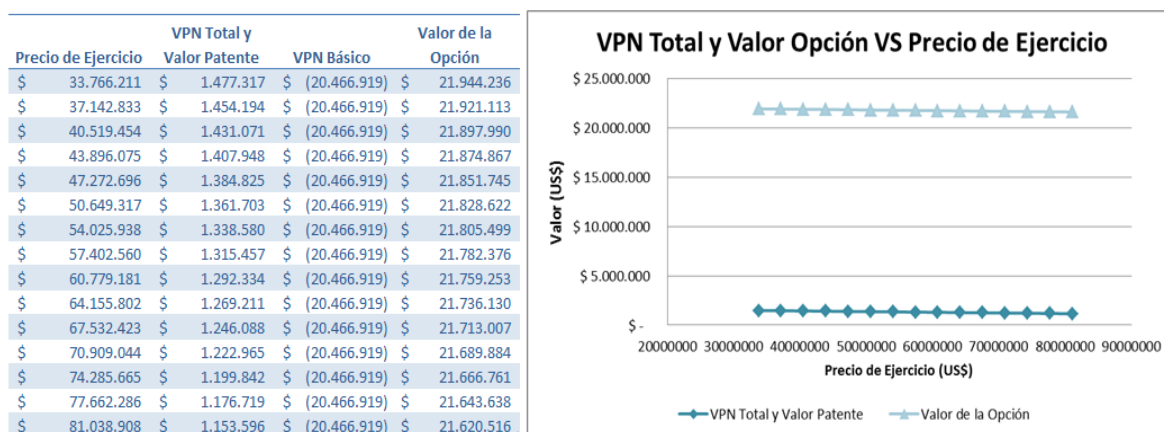


Fuente: Elaboración propia.

El precio de ejercicio presenta un comportamiento que se mueve en sentido contrario al valor del proyecto, es decir, aumentos del precio de ejercicio disminuyen el valor del proyecto, en la realidad esto representa que un aumento de la inversión necesaria para acceder a determinados ingresos o flujos de caja (valor del subyacente) sin tener un aumento de estos últimos, se traduce en la desmotivación para invertir en el proyecto. El valor del precio de ejercicio en el caso base es de

aproximadamente US\$73 millones representado principalmente por la inversión en plantas y equipos. Variando únicamente el valor de la inversión en plantas y equipos se tiene que cuando el valor de este último es aproximadamente US\$33 millones el valor del proyecto será de US\$ 1,47 millones, yendo hacia el extremo pesimista si se da el caso de que la maquinaria, planta y equipo llegara a los US\$81 millones el valor del proyecto disminuirá a US\$ 1,15 millones aproximadamente, Gráfica 4. Esto último indica realizar un análisis más profundo al momento de decidir realizar las inversiones en las plantas ya que un aumento de ello sin obtener un aumento de los ingresos puede significar un esfuerzo innecesario para los inversionistas.

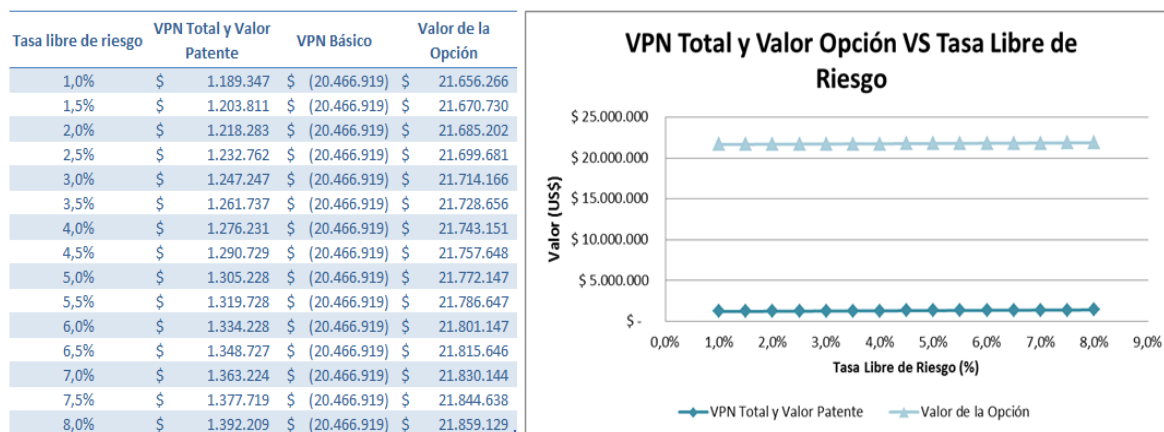
Gráfica 4. Evolución del valor del proyecto de acuerdo a la variación en el precio de ejercicio



Fuente: Elaboración propia.

La tasa libre de riesgo fue otra de las variables que fueron evaluadas, se obtuvo como resultado que el aumentar esta variable provoca un aumento del valor de la opción del presente proyecto, Gráfica 5. Esto indica que al incrementar la tasa libre de riesgo, el aumento en el valor del subyacente es menor al descenso en el valor del precio de ejercicio, por lo que se obtiene como efecto neto un mayor valor del proyecto.

Gráfica 5. Evolución del valor del proyecto de acuerdo a la variación de la Tasa Libre de Riesgo



Fuente: Elaboración propia.

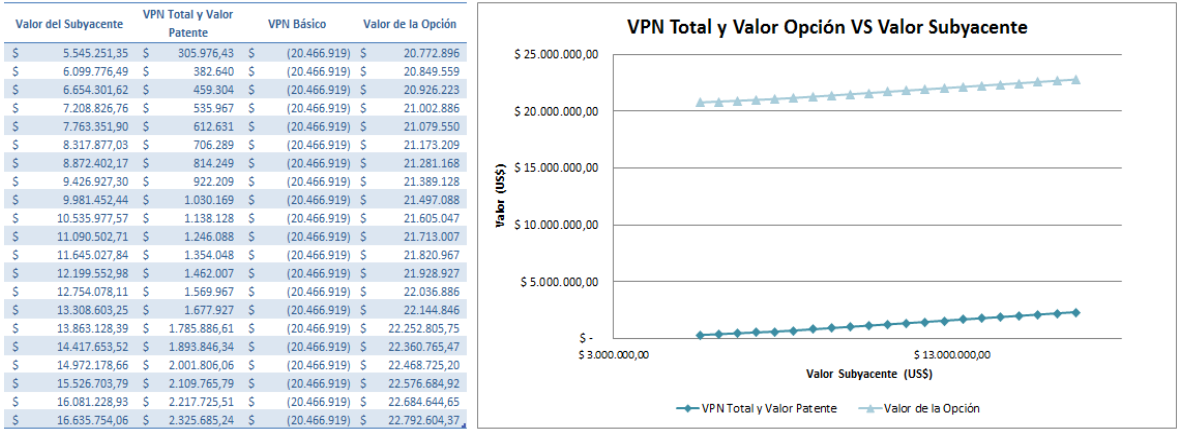
Igualmente se analizó el valor del subyacente, como ya se mencionó anteriormente el valor del subyacente corresponde a los flujos de caja generados por la explotación de la patente principalmente a partir del año 2018. Se obtuvo que aumentos del valor del subyacente generan un incremento del valor de la opción, por lo tanto también del valor del proyecto y de la patente. Los valores evaluados para el subyacente comienzan en US\$ 5,54 millones en donde se obtiene un valor del proyecto de US\$ 0,30 millones y un valor para la opción de US\$ 20,7 millones aproximadamente, mientras como valor máximo se estimaron US\$ 16,6 millones en el subyacente, obteniendo un valor del proyecto de US\$ 2,32 millones, Gráfica 6.

El último análisis realizado corresponde al afecto que tiene la tasa de descuento sobre el valor total, el valor de la opción, el valor del VPN y el valor del Subyacente para cada uno de los países evaluados. Para efectuar este análisis se procedió a verificar la evolución de la tasa de descuento en cada uno de los países mientras en los demás países se mantenía el valor de la tasa como constante, es decir un país a la vez, tal como se muestra en la Tabla 20. La Gráfica 7 muestra la evolución del valor del VPN total al variar la tasa de descuento en cada uno de los países, en todos los casos evaluados se presenta una reducción del valor del VPN al incrementar la tasa de descuento, comportamiento que era de esperar. La tasa de descuento que más impacto presenta sobre el VPN total corresponde a la de Brasil, en donde al evaluar la tasa del 10% se obtiene el mayor valor para el proyecto de US\$ 3,7 millones, al igual que se presenta el valor mínimo del proyecto con una magnitud de US\$ 0,15 millones cuando la tasa de descuento es del 50%. Por el lado del valor de la opción de nuevo se presenta una influencia mayor de la tasa de descuento de Brasil sobre el proyecto, en donde se reduce el valor de la opción a un mínimo de US\$ 12 millones al evaluar la tasa del 50%. Posteriormente se quiso verificar el valor del VPN en cada uno de los países al variar la tasa de descuento, como resultado se obtuvo de nuevo que el VPN de Brasil es que más se afecta al tener variaciones en la tasa de descuento, ya que para los demás países se obtienen valores más cercanos entre sí. Finalmente se evaluó la influencia de la tasa de descuento sobre el valor del subyacente, ya que a partir de este se elabora el árbol binomial que indica la evolución del valor del activo a lo largo del tiempo, los resultados presentan un comportamiento similar al obtenido al evaluar el efecto de la tasa de descuento sobre el VPN total del proyecto, en donde el valor del subyacente obtenido cuando se evalúa la tasa de Brasil, resulta ser más sensible a los cambios, presentando el valor máximo cuando la tasa de descuento es del 10% y el valor mínimo de US\$ 4,2 millones cuando esta tasa alcanza el 50%. El subyacente obtenido al variar la tasa de los demás países tiende a alcanzar un valor casi constante, lo que indica la disminución del efecto de la tasa de descuento al ir incrementando esta última, permitiendo intuir que el nivel de riesgo será casi el mismo así se pretenda cubrirlo con tasas de descuento mayores (Gráfica 10).

En términos generales la tasa de descuento afecta de manera importante el valor del proyecto, especialmente cuando se pretenda desarrollar la explotación de la patente en Brasil, la importancia de conocer esta información radica principalmente en que dependiendo de la empresa o empresas interesadas, el valor del proyecto se podría ver afectado. Las razones corresponden a la tasa de descuento que se emplee, ya que una empresa con una tasa de descuento con niveles menores de riesgo, con amplio conocimiento en el desarrollo de tecnologías e investigación y con una tasa de

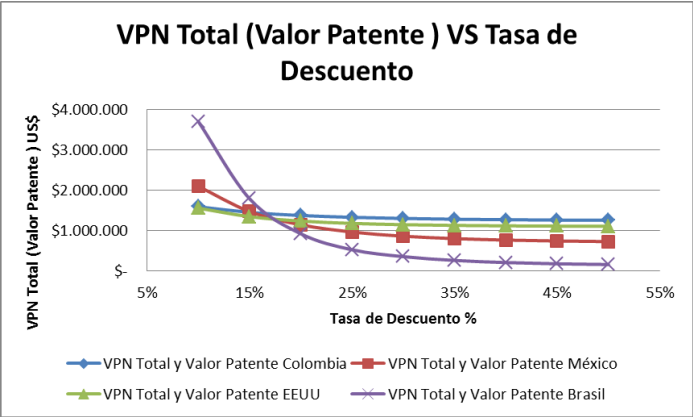
descuento dentro de un rango entre el 10 y el 20% para las etapas de explotación, tendrá amplias posibilidades de capturar un mayor valor de la patente.

Gráfica 6. Evolución del valor del proyecto de acuerdo a la variación del valor del subyacente



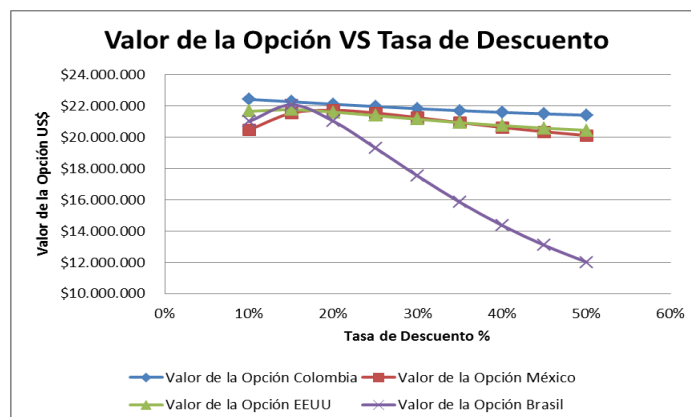
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 7. VPN Total (Valor Patente) VS Tasa de Descuento



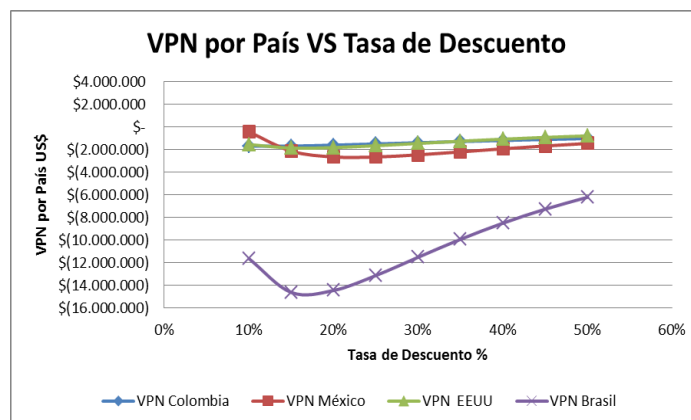
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 8. Valor de la Opción VS Tasa de descuento.



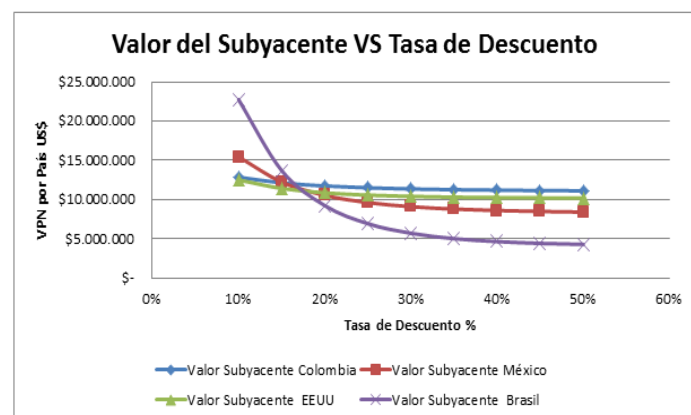
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 9. VPN por país VS Tasa de descuento



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 10. Valor del Subyacente VS Tasa de descuento



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20. Efecto de variación de la tasa de descuento por país en el VPN total y el valor de la patente

Colombia						
Tasa Descuento	VPN Total y Valor Patente	Valor de la Opción	VPN Básico	VPN Colombia	Valor Subyacente	
10%	\$ 1.587.422	\$ 22.418.184	\$ (20.830.762)	\$ (1.696.733)	\$ 12.843.734	
15%	\$ 1.447.395	\$ 22.269.972	\$ (20.822.576)	\$ (1.688.547)	\$ 12.124.500	
20%	\$ 1.369.750	\$ 22.111.581	\$ (20.741.831)	\$ (1.607.802)	\$ 11.725.682	
25%	\$ 1.324.060	\$ 21.960.494	\$ (20.636.434)	\$ (1.502.405)	\$ 11.491.001	
30%	\$ 1.295.756	\$ 21.822.621	\$ (20.526.865)	\$ (1.392.836)	\$ 11.345.616	
35%	\$ 1.277.443	\$ 21.699.184	\$ (20.421.741)	\$ (1.287.712)	\$ 11.251.555	
40%	\$ 1.265.160	\$ 21.589.558	\$ (20.324.398)	\$ (1.190.369)	\$ 11.188.466	
45%	\$ 1.256.673	\$ 21.492.460	\$ (20.235.787)	\$ (1.101.758)	\$ 11.144.870	
50%	\$ 1.250.661	\$ 21.406.453	\$ (20.155.792)	\$ (1.021.763)	\$ 11.113.993	
México						
Tasa Descuento	VPN Total y Valor Patente	Valor de la Opción	VPN Básico	VPN México	Valor Subyacente	
10%	\$ 2.095.997,70	\$ 20.468.207,22	\$ (18.372.209,53)	\$ (437.077,07)	\$ 15.455.985,26	
15%	\$ 1.467.488,96	\$ 21.539.262,97	\$ (20.071.774,01)	\$ (2.136.641,56)	\$ 12.227.708,30	
20%	\$ 1.138.267,58	\$ 21.723.752,56	\$ (20.585.484,97)	\$ (2.650.352,52)	\$ 10.536.693,15	
25%	\$ 958.328,12	\$ 21.551.435,59	\$ (20.593.107,48)	\$ (2.657.975,02)	\$ 9.612.450,73	
30%	\$ 856.068,82	\$ 21.253.567,65	\$ (20.397.498,83)	\$ (2.462.366,38)	\$ 9.087.205,31	
35%	\$ 795.843,79	\$ 20.930.510,89	\$ (20.134.667,10)	\$ (2.199.534,65)	\$ 8.777.865,00	
40%	\$ 759.199,79	\$ 20.624.019,01	\$ (19.864.819,23)	\$ (1.929.686,77)	\$ 8.589.646,48	
45%	\$ 736.231,04	\$ 20.349.381,01	\$ (19.613.149,97)	\$ (1.678.017,52)	\$ 8.471.669,63	
50%	\$ 721.438,35	\$ 20.110.058,27	\$ (19.388.619,92)	\$ (1.453.487,47)	\$ 8.395.688,36	
EEUU						
Tasa Descuento	VPN Total y Valor Patente	Valor de la Opción	VPN Básico	VPN EEUU	Valor Subyacente	
10%	\$ 1.554.057	\$ 21.654.482	\$ (20.100.425)	\$ (1.549.847)	\$ 12.511.306	
15%	\$ 1.340.786	\$ 21.756.668	\$ (20.415.882)	\$ (1.865.304)	\$ 11.415.858	
20%	\$ 1.231.619	\$ 21.607.538	\$ (20.375.919)	\$ (1.825.341)	\$ 10.855.129	
25%	\$ 1.173.467	\$ 21.380.391	\$ (20.206.924)	\$ (1.656.346)	\$ 10.556.440	
30%	\$ 1.141.345	\$ 21.145.461	\$ (20.004.116)	\$ (1.453.537)	\$ 10.391.449	
35%	\$ 1.123.006	\$ 20.929.382	\$ (19.806.376)	\$ (1.255.798)	\$ 10.297.251	
40%	\$ 1.112.217	\$ 20.740.292	\$ (19.628.075)	\$ (1.077.496)	\$ 10.241.835	
45%	\$ 1.105.695	\$ 20.578.666	\$ (19.472.970)	\$ (922.392)	\$ 10.208.335	
50%	\$ 1.101.654	\$ 20.442.051	\$ (19.340.397)	\$ (789.819)	\$ 10.187.580	
BRASIL						
Tasa Descuento	VPN Total y Valor Patente	Valor de la Opción	VPN Básico	VPN BRASIL	Valor Subyacente	
10%	\$ 3.706.864	\$ 21.004.737	\$ (17.297.873)	\$ (11.652.390)	\$ 22.739.829	
15%	\$ 1.786.554	\$ 22.070.683	\$ (20.284.128)	\$ (14.638.645)	\$ 13.705.505	
20%	\$ 915.140	\$ 21.017.418	\$ (20.102.277)	\$ (14.456.794)	\$ 9.229.569	
25%	\$ 518.757	\$ 19.300.878	\$ (18.782.122)	\$ (13.136.639)	\$ 6.923.287	
30%	\$ 348.505	\$ 17.510.169	\$ (17.161.664)	\$ (11.516.181)	\$ 5.691.818	
35%	\$ 254.624	\$ 15.831.660	\$ (15.577.036)	\$ (9.931.553)	\$ 5.012.753	
40%	\$ 201.338	\$ 14.351.544	\$ (14.150.205)	\$ (8.504.722)	\$ 4.627.329	
45%	\$ 170.306	\$ 13.082.538	\$ (12.912.232)	\$ (7.266.749)	\$ 4.402.865	
50%	\$ 151.816	\$ 12.008.874	\$ (11.857.058)	\$ (6.211.575)	\$ 4.269.122	

Fuente: Elaboración propia.

Se aprecia finalmente que los valores de la patente de acuerdo a los diferentes valores evaluados de las variables utilizadas en la teoría de OR oscilan entre 0 y US\$ 3,7 millones lo que da a la empresa interesada en el proyecto una idea más precisa de lo que puede llegar a ganar si decide llevar a cabo este proyecto. Realizando un análisis similar con el valor de la opción se tiene que el valor mínimo es de US\$ 12 millones mientras el máximo alcanza los US\$ 22.7 millones, esto demuestra de nuevo la necesidad de una apropiada capacidad para la toma de decisiones dentro del proyecto, así como la importancia de lograr capturar la volatilidad inherente del proyecto de forma que sea canalizada en pro de beneficios para el mismo.

7. CONCLUSIONES

Se identificaron las patentes como activos intangibles que poseen un valor importante en las organizaciones y los negocios que se llevan a cabo en la actualidad. Dicho valor se sustenta en parte en el valor de la flexibilidad operativa que proporcionan las decisiones estratégicas a tomar relacionadas con las patentes.

Entre los enfoques más empleados para la valoración de patentes y proyectos de I+D+i se encontraron el de los costos, el de los ingresos y el del mercado, sin embargo, estos enfoques no son capaces de capturar el verdadero valor completo de una patente debido a su limitación y perspectiva, además de subestimar la capacidad de la toma de decisiones relacionada con el producto o proceso patentado.

Se logró estructurar la metodología para valorar patentes mediante OR a partir de la investigación llevada a cabo por diversos autores. Para esto se emplearon metodologías y conceptos de valoración como el de árboles binomiales, simulación Monte Carlo, FCD y VPN que posibilitaron capturar un valor de la patente más acorde con la realidad de este tipo de activos.

A través de la valoración de la patente para la descontaminación de residuos tóxicos mediante oxidación en presencia de agua y oxígeno, se mostró la utilización de la teoría de OR como herramienta para la valoración de patentes, demostrando la capacidad para capturar el valor de la flexibilidad en la toma de decisiones, contrario a otros enfoques o metodologías que no permiten obtener este valor y proporcionando además un conjunto de herramientas estratégicas que posibilitan la gestión de la patente a lo largo de las etapas de desarrollo y explotación.

La teoría de OR demostró ser una herramienta de valoración importante a aplicar en proyectos de inversión que involucran patentes. Las características de proyectos de este tipo como son los altos niveles de incertidumbre (por un lado en las etapas de I+D concernientes a los resultados propios de la tecnología y por otro lado lo relacionado a ciertos aspectos de mercado y del proyecto como la demanda, los precios de venta, precios de las materias primas, variables macroeconómicas, entre otras), reflejado en los niveles elevados de volatilidad, favorecen la utilización de las OR al permitir visualizar un amplio margen de maniobra a la administración del proyecto, lo que facilita la identificación de oportunidades de maximización del valor del mismo.

De acuerdo con los resultados obtenidos, la patente de la tecnología para la destrucción de residuos tóxicos mediante oxidación en agua supercrítica presenta un alto potencial de explotación comercial que depende principalmente de la capacidad que tengan las empresas interesadas, en tomar provecho de las circunstancias del mercado más que de las circunstancias intrínsecas de la tecnología.

Los resultados obtenidos a través de las OR proporcionan además del valor del proyecto en sí, una guía o lineamientos estratégicos que los encargados de la toma de decisiones pueden tener en cuenta durante el desarrollo del proyecto, ya que indica en que momentos de la valoración resulta

provechoso tomar determinadas decisiones con el fin de maximizar el valor del proyecto o en caso contrario evitar pérdidas considerables. Para el caso del proyecto de valoración de la patente para descontaminación de residuos contaminados con PCBs, el modelo de opciones proporciona información adicional como es la de abandonar el proyecto bajo ciertas circunstancias sobre todo en la segunda fase de desarrollo y en aquellas fases de explotación en cada uno de los países.

A Pesar de haber obtenido un resultado positivo del valor de la patente a través del enfoque de OR tomando la perspectiva de una organización, es también necesario analizar este aspecto de forma simultánea con el valor de la patente desde el punto de vista de la universidad y con los objetivos de la empresa al momento de tomar una decisión definitiva sobre la negociación de la patente.

La principal dificultad en la aplicación de la metodología estructurada corresponde tanto al establecimiento de la perspectiva de valoración como a la consecución de datos e información lo suficientemente precisa y apropiada para representar el modelo de valoración de la patente.

El valor obtenido de la patente es solamente una parte de la misma, parte que se asumió puede presentar un mayor potencial de comercialización, por lo que no fueron tenidos en cuenta otros tipos de residuos que pueden ser eliminados a través del proceso desarrollado por los investigadores de la Universidad del Valle.

La incertidumbre que más influye en el proyecto es la derivada de aspectos del mercado, esto se traduce en la necesidad tener presente este aspecto al momento de desarrollar el proyecto, procurando tomar decisiones relacionadas con variables del mercado que contribuyan a obtener resultados favorables para este.

La valoración de patentes y en general de tecnología y activos relacionados, requiere de una valoración integral en donde se tengan en cuenta las diversas perspectivas que pueden tomar el proyecto, es decir, una perspectiva multidisciplinaria de valoración del activo en cuestión permite realizar una valoración más objetiva, evitando problemas de subjetividad que normalmente se pueden presentar en valoraciones de este tipo. Este punto es importante teniendo en cuenta que el valor de la patente puede variar dependiendo de la perspectiva de valoración que se tome, por lo que es necesario conocer los diferentes puntos de vista a fin de tomar supuestos coherentes, realistas y de mayor fidelidad a la realidad del activo y proyecto en cuestión.

Los resultados obtenidos aunque proporcionan una estimación apropiada del valor de la patente, no reflejan de manera exacta el valor del proyecto ni tampoco indican con total certeza el comportamiento de todas las variables que se manejaron en la valoración. Como todo modelo diseñado para representar algún aspecto de la realidad contiene ciertos grados de error en su estimación. Así que más que indicar de manera exacta el proceso a seguir, la teoría de OR proporciona un conjunto de herramientas de decisión estratégicas útiles en los procesos de toma de decisiones.

El desarrollo de actividades de I+D en centros de investigación y universidades presenta la necesidad de contar con herramientas de apoyo administrativo, como son la valoración apropiada de los activos de Propiedad Intelectual que se generan, sumado a la necesidad de una correcta

sincronización entre los centros de investigación universitarios y las industrias con el fin de crear innovaciones bajo los criterios requeridos por los mercados de la actualidad.

Es relevante también destacar las actividades llevadas a cabo por las OTRI de las universidades, como entes que posibilitan el desarrollo y articulación entre los centros de investigación y las industrias. Se debe procurar lograr incentivar el desarrollo de estas oficinas para que se fortalezcan y favorezcan las actividades de negociación entre los centros universitarios y las organizaciones, lo que se traduce en obtener valoraciones más apropiadas para el beneficio de todas las partes involucradas en el desarrollo de innovaciones y mayores ingresos para continuar con actividades de investigación, en mejoras de los sistemas educativos, de la calidad de vida y en general de todo el sistema involucrado.

En torno a futuras investigaciones relacionadas con el tema de valoración de patentes mediante opciones reales existen diversos temas que pueden ser objeto de estudio.

Las grandes empresas o corporaciones normalmente no manejan una sola patente sobre un determinado producto, si no que pueden ser múltiples patentes, esto se evidencia especialmente en el tema de tecnologías de la información, dispositivos eléctricos y electrónicos, por lo que la valoración no se realiza sobre una sola patente sino sobre una cartera de patentes. En proyectos de valoración de este tipo se puede estudiar la teoría de opciones como herramienta para capturar la flexibilidad total de las decisiones subyacentes sobre este conjunto de activos, un ejemplo de ello es que muchas empresas pueden optar por hacer cruces de patentes con otros fabricantes una opción que proporciona más flexibilidad y que presenta un valor adicional, así como múltiples decisiones de compra, licencia, venta, ampliación de alcance entre otras que mediante los enfoques tradicionales de valoración no son tenidas en cuenta.

En el tema de las patentes las reivindicaciones presentan importancia debido a que por medio de estas es posible establecer el alcance y los límites de explotación de la patente. Esta idea permite pensar que las reivindicaciones pueden ser vistas como opciones de compra sobre una porción adicional del mercado potencial de la patente, sin embargo este tema no se vio que fuera trabajado en la bibliografía que se consultó, por lo que podría hacer parte del tema de valoración de patentes con OR.

El tema de OR para valorar patentes se puede decir que aún es una teoría reciente, sería interesante verificar la validez de la teoría para evaluar este tipo de activos al realizar la comparación con patentes que ya estén en proceso de explotación a fin de evidenciar la veracidad de la teoría de opciones para capturar el valor adicional que no es tenido en cuenta por los enfoques de valoración más tradicionales.

Como último tema de recomendación para futuros estudios, se tiene la implicación en las valoraciones de posibles litigios, los cuales pueden ser determinantes en la explotación de determinado producto o proceso ya que afectan directamente los ingresos dependiendo del caso que se esté presentando y puede determinar si posible continuar o no con la explotación de un producto o proceso patentado.

BIBLIOGRAFÍA

- Acuerdo de Cartagena. (21 de Octubre de 1993). <http://colombia.eregulations.org>. Recuperado el 15 de Abril de 2011, de <http://colombia.eregulations.org: http://colombia.eregulations.org/media/Decision%20344%20de%201993.pdf>
- Act, U. C. (s.f.). *17 USC 101 Definitions*. Recuperado el 28 de 02 de 2011, de <http://www.bitlaw.com/source/17usc/101.html>
- Agudelo Cardenas, C., & Rey Escobar, C. (2008). Aplicación de la metodología de opciones reales para la evaluación de proyectos de expansión de la capacidad productiva; Una aplicación a un caso colombiano. Santiago de Cali, Valle, Colombia.
- Australia, P. O. (2001). *Biotechnology Intellectual Property Manual*.
- Azofra Palenzuela, V., Alonso Bonís, S., & de la Fuente Herrero, G. (2007). Las Opciones Reales y la Simulación Monte Carlo. *Universia Business Review*, 52-63.
- Bloom, N., & Van Reenen, J. (2002). Patents, Real Options and Firm Performance. *The Economic Journal*, C97-C116.
- Boer, P. (2002). *The Real Options Solution Finding Total Value in a High-Risk World*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Boer, P. (2004). *Techonology Valuation Solutions*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.
- Bolaños Barrera, G., & Marulanda Cardona, V. F. (2009). *Patente n° WO 2010/0070612 A4*. Colombia.
- Borrosa, G. d. (2008). *Valuación de activos intangibles con matemática difusa y su adecuación a normas contables españolas e internacionales*. Estudios de Economía Aplicada.
- Bowe, M., & Lee, D. (2004). Project evaluation in the presence of multiple embedded real options: evidence from theTaiwan High-Speed Rail Project. *Journal of Asian Economics*, 71-98.
- Brach, M. (2003). *Real Options in practice*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.
- Calle Fernández, A. M., & Tamayo Bustamante, V. M. (2009). Decisiones de inversión a través de opciones reales. *Estudios Gerenciales*, 107-126.
- Carbonell, E. (2002). Gestión y Valoración de Patentes. España.
- Carbonell, E. (2002). <http://www.pcb.ub.edu/homePCB/live/ct/p1.asp>. Recuperado el 12 de Julio de 2011, de http://www.pcb.ub.edu/homePCB/live/ct/p1.asp: http://www.pcb.ub.edu/centredopatents/cas/dilluns_cp.htm

- Cassimon, D., Engelen, P., Thomassen, L., & Van Wouwe, M. (2004). The valuation of a NDA using a 6-fold compound option. *Research Policy*, 41-51.
- Cerqueti, R., & Ventura, M. (2009). *A Discrete Model for Patent Valuation*. Roma: ISAE.
- Chaparro Beltrán, F., & Amaya Pulido, P. (1997). *Manual sobre la propiedad intelectual de productos derivados de la actividad académica en universidades y centros de investigación*. Bogotá: Universidad Nacional.
- Chiu, Y.-J., & Chen, Y.-W. (2007). Using AHP in patent valuation. *Mathematical and Computer Modelling*, 1054–1062.
- Chun-Yao , T., & Cheng-Hwai, I. (2006). Valuation of R&D and Patent: An Economic Value Added Perspective. *PICMET*. Estambul.
- Cohen, J. A. (2005). *Intangible Assets Valuation and Economic Benefit*. John Wiley & Sons.
- Copeland, T., & Keenan, P. (1998). Making Real Options Real. *The McKinsey Quarterly*, 128-141.
- Cromley, T. (Noviembre de 2004). *Journal of Accountancy*. Recuperado el Mayo de 2011, de Journal of Accountancy: <http://www.journalofaccountancy.com/Issues/2004/Nov/20StepsForPricingAPatent.htm>
- Damodaran, A. (2008). *Strategic Risk Taking A Framework for Risk Management*. New Jersey: Pearson Education.
- De Backer, M., Cassimon, D., Engelen, P., Van Wouwe, M., & Yordanov, V. (2010). Incorporating technical risk in compound real option models to value a pharmaceutical R&D licensing opportunity. *Research Policy*.
- Dirección de Desarrollo Sectorial Sostenible. (2007). *Inventario preliminar de Compuestos Bifenilos Policlorados (PCB) existentes en Colombia*. Bogotá: Sanmartín Obregón & Cía.
- Dixit, A., & Pindyck, R. (1995). The Options Approach to Capital Investment. *Harvard Business Review*, 105-115.
- Ernst, H., Legler, S., & Lichtenthaler, U. (2010). Determinants of patent value: Insights from a simulation analysis. *Technological Forecasting & Social Change*, 1-19.
- Fernandez, P. (2008). *Valoración de Opciones Reales: Dificultades, Problemas y Errores*. Barcelona.
- Funes Cataño, Y. (2010). *Valuación de los activos intangibles. Caso de la UNAM*. Revista del Centro de Investigación. Universidad La Salle.
- Gimpera, C. d. (2006). *Valoración y Licencia de Patentes de Nuevos Productos Farmacéuticos*. Barcelona, España.

- Gordon W. Smith, R. L. (2005). *Intellectual Property. Valuation, Exploitation, and Infringement Damages*. Jhon Wiley & Sons, Inc.
- Greenpeace. (7 de Octubre de 1998). Technical criteria for the destruction of stockpiled persistent organic pollutants. Canadá.
- Guido von Scheffer, M. Z. (1 de Julio de 2005). *Methods For Patent Valuation*. Berlin, Alemania.
- Hartmann, M., & Hassan, A. (2006). Application of real options analysis for pharmaceutical R&D project valuation—Empirical results from a survey. *Research Policy*, 343-354.
- Hsu, J., & Schwartz, E. (2008). A model of R&D valuation and the design of research incentives. *Insurance :Mathematics and Economics*, 350-367.
- Humanos, D. U. (s.f.). *Declaración Universal de los Derechos Humanos*. Recuperado el 25 de Febrero de 2011, de <http://www.un.org/es/documents/udhr/index.shtml#a27>
- Institute, T. A. (s.f.). *World International Property Organization*. Recuperado el 28 de Febrero de 2011, de http://www.wipo.int/wipolex/en/text.jsp?file_id=194018
- Internal Revenue Service United States Department of the Treasury. (s.f.). <http://www.irs.gov/>. Recuperado el 20 de Marzo de 2011, de <http://www.irs.gov/>: <http://www.irs.gov/pub/irs-drop/rp-00-50.pdf>
- Jerrold, L., & Kenneth , R. (2005). *Goodwill*. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics.
- Kamiyama, S., Sheehan, J., & Martinez, C. (2006). *Valuation and Exploitation of Intellectual Property*. Paris.
- Kodukula, P., & Papudesu, C. (2006). *Project Valution Using Real Options A Practitioners Guide*. Fort Lauderdale: J. Ross Publishing.
- Lamothe, P., & Mendez, M. (2006). Valoración a Través de una Opción Real Compuesta de un Parque Eólico con Riesgos Privados y del Mercado. *Documento de Trabajo Doctorado de Finanzas en Empresas*. Madrid, España.
- Lusch, H. M. (1997). *Protecting the Core Competencies of a Company: Intangible Asset Security*. Pergamon.
- Manotas, D., & Manyoma, P. (2001). La Evaluación de Proyectos de Inversión Mediante Opciones Reales: Aspectos Conceptuales. *Ingeniería y Competitividad*, 7-18.
- Marulanda Cardona, V. (Octubre de 2009). Desarrollo de un proceso para tratamiento de bifenilos policlorados (PCBs) y piridina mediante oxidación en agua supercrítica. Santiago de Cali, Valle, Colombia.

- Millán, J., & Sugimoto, Y. (2010). Metodología para la Valoración de Proyectos de Innovación de Tecnologías de Proceso, Caso de Estudio: Valoración de Proceso de Vinaza. Santiago de Cali, Valle del Cauca, Colombia.
- Mun, J. (2002). *Real Options Analysis*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.
- Mun, J. (2010). *Modeling Risk*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.
- Pabón Romero, A. (2007). Valoración de Proyectos de I+D con Opciones Reales: Aplicación en un Caso Hipotético. Santiago de Cali, Valle, Colombia.
- Pajares Gutierrez, J., Hernández Iglesias, C., & Lopez Paredes, A. (2002). Opciones Reales en las Decisiones de Inversión. *Conferencia de Ingeniería de Organización*. Vigo.
- Park, Y., & Park, G. (2004). A new method for technology valuation in monetary value: procedure and application. *Technovation*, 387–394.
- Penman, S. (2009). *Accounting for Intangible Assets: There is Also an Income Statement*. Abacus.
- Perez Pugatch, M. (s.f.). *What is the Value of Your Patent? Theory, Myth and Reality*.
- Pitkethly, R. (1997). *The Valuation of Patents : A review of patent valuation methods with consideration of*.
- Proyecto CERI-ACDI-COLOMBIA Medio Ambiente, Hidrocarburos y Minas. (1999). *Manual de Manejos de PCBs para Colombia*. Bogotá.
- Rae, I. (2003). Alternative Technologies for Destruction of PCB and Other POPs. En H. Fiedler, *The Handbook of Environmental Chemistry Vol. 3, Part O Persistent Organic Pollutants* (págs. 426-437). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Razgaitis, R. (2009). *Valuation and Dealmaking of Technology Based Intellectual Property Principles, Methods and Tools*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.
- Reilly, R. (2010). *Intangible Asset Valuation, Damages, and Transfer Price Analyses in the Health Care Industry*. Aspen Publishers.
- Rodrigues, A., & Rocha, M. (2007). The valuation of modular projects: A real options approach to the value of splitting. *Global Finance Journal*, 205-227.
- Ruiz, F. (2006). Valoración de Patentes y Proyectos de I+D por Opciones Reales. *X Congreso de Ingeniería de Organización*. Valencia.
- Schwartz, E. (2004). Patents and R&D as Real Options. *Economic Notes by Banca Monte dei Paschi di Siena SpA*, 23-54.

- Smith, G., & Parr, R. (2005). *Intellectual Property Valuation, Exploitation and Infringement Damages*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.
- Trigeorgis, L. (1996). Evaluating leases with complex operating options. *European Journal of Operational Research*, 315-329.
- Tseng, C.-Y., & liou, C.-H. (2006). Valuation of R&D and Patent: An Economic Value Added Perspective. *PICMET*, 9-13.
- United Nations Environment Programme Chemicals in co-operation with the Secretariat of the Basel Convention (SBC). (Diciembre de 1998). Inventory of world-wide PCB destruction capacity.
- United States Patent and Trademark Office. (s.f.). <http://www.uspto.gov>. Recuperado el 20 de Febrero de 2011, de http://www.uspto.gov: http://www.uspto.gov/web/offices/pac/mpep/documents/appxl_35_U_S_C_101.htm
- United States Patent and Trademark Office. (s.f.). <http://www.uspto.gov>. Recuperado el 20 de Febrero de 2011, de http://www.uspto.gov: http://www.uspto.gov/web/offices/pac/mpep/documents/appxl_35_U_S_C_161.htm
- Van Triest, S., & Vis, W. (2007). Valuing patents on cost-reducing technology: A case study. *Int. J. Production Economics*, 282–292.
- Varela, R., & Díez, J. (2010). *Evaluación económica de proyectos de inversión*. - 7 ed. Bogotá: McGraw-Hill.
- Vedovoto, G. (2010). Opciones reales: Una propuesta para valorar proyectos de I+D en centros públicos de investigación. *II Congreso Internacional en Ciencias, Tecnologías y Cultura*. Santiago de Chile.
- Yan, L., Hong, Z., & Lucheng, H. (2010). Review on methods of new technology valuation. *International Conference on E-Business and E-Government*. Beijing.
- Yi-Hsuan, L., Hui-Chung, C., & Szu-Yi, W. (2008). Managing Patent Legal Value via Fuzzy Neural Network incorporated with Factor Analysis. *IEEE*, 1-6.
- Yu-Jing , C., & Yuh-Wen , C. (2007). Using AHP in patent valuation. *Mathematical and Computer Modelling*, 1054–1062.
- Zieger, M., & Von Scheffer, G. (1 de Julio de 2005). Methods For Patent Valuation. *International Conference On "IP As An Economic Asset: key Issues In Exploitation And Valuation"*. Berlin, Alemania.

ANEXOS

Anexo 1. Equipos y elementos requeridos para establecer plantas industriales

Elemento Requerido	Código	Máquina o Equipo
Bomba de drenaje de aceite	P-101	Bomba Centrifuga con potencia de eje de 0,01 KW
Bomba de retrolenado con solvente	P-102	Bomba Centrifuga con potencia de eje de 0,01 KW
Bomba de peróxido 50%	P-103	Bomba Centrifuga con potencia de eje de 0,01 KW
Tanque de percloroeteno	TK-101	Tanque acero al carbono 393L a 10 bar presión
Tanque de aceite con PCBs	TK-102	Tanque acero al carbono 393L a 10 bar presión
Tanque de Peróxido 50%	TK-103	Tanque acero al carbono 393L a 10 bar presión
Dilución de peróxido	V-101	Tanque acero al carbón 0,3 m3 a 10 bar presión
Recuperación solvente	V-102	Unidad Flash 20 psi
Deionización agua	V-103	
Bomba de presurización de aceite	P-104	Bomba AP- 3600 psi con potencia de eje 0,023 KW
Bomba de presurización de peróxido	P-105	Bomba AP- 3600 psi con potencia de eje 8,4417 KW
Reactor Tubular	R-101	Reactor tubular de 10 tubos de alta presión 1,5"
Intercambiador recuperador	E-101	Condensador de acero al carbón e inoxidable 241 Bar
Intercambiador enfriador	E-102	Unidad intercambio iónico 5m3/h
Calentador de alimentación	E-103	Calentador 100 KW
Bodega	BOD	Asumiendo costo contenedor
Equipo para medición e identificación de PCBs en muestras	CRO	Cromatografo de gas

Fuente: Marulanda (2009).

Anexo 2. Ingresos obtenidos por la universidad por licenciar la patente

El cálculo del VPN corresponde sólo a los ingresos mas no se tienen en cuenta los gastos por mantenimiento de las patentes.

Año	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Colombia	\$ -	\$ -	\$ 4.224	\$ 3.181	\$ 103.356	\$ 186.036	\$ 240.243	\$ 308.123	\$ 296.525	\$ 284.296	\$ 271.399	\$ 257.798	\$ 243.453	\$ 264.213	\$ 246.171	\$ 227.141	\$ 207.067	\$ 185.887
Brasil	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 1.325.090	\$ 1.434.343	\$ 2.904.763	\$ 3.567.145	\$ 3.470.017	\$ 3.367.205	\$ 3.937.344	\$ 3.800.523	\$ 3.655.685	\$ 4.112.621	\$ 3.340.042	\$ 2.945.171
EEUU	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 93.731	\$ 104.186	\$ 235.814	\$ 298.296	\$ 293.722	\$ 289.016	\$ 348.093	\$ 342.302	\$ 336.341	\$ 391.637	\$ 323.893	\$ 293.533
MÉXICO	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 282.692	\$ 306.657	\$ 651.090	\$ 816.910	\$ 807.954	\$ 798.594	\$ 957.455	\$ 945.629	\$ 933.270	\$ 1.083.970	\$ 906.854	\$ 828.789
Total	\$ -	\$ -	\$ 4.224	\$ 3.181	\$ 103.356	\$ 186.036	\$ 1.941.755	\$ 2.153.308	\$ 4.088.193	\$ 4.966.647	\$ 4.843.093	\$ 4.712.613	\$ 5.486.345	\$ 5.352.667	\$ 5.171.467	\$ 5.815.369	\$ 4.777.856	\$ 4.253.380
Gastos																		
Colombia	\$ 480	\$ 505	\$ 532	\$ 560	\$ 590	\$ 621	\$ 654	\$ 688	\$ 725	\$ 763	\$ 804	\$ 846	\$ 891	\$ 938	\$ 987	\$ 1.040	\$ 1.095	\$ 1.153
Brasil	\$ 1.145	\$ 1.168	\$ 1.191	\$ 1.215	\$ 1.239	\$ 1.264	\$ 1.289	\$ 1.315	\$ 1.342	\$ 1.368	\$ 1.396	\$ 1.424	\$ 1.452	\$ 1.481	\$ 1.511	\$ 1.541	\$ 1.572	\$ 1.603
EEUU	\$ 4.730	\$ 4.825	\$ 4.921	\$ 5.020	\$ 5.120	\$ 5.222	\$ 5.327	\$ 5.433	\$ 5.542	\$ 5.653	\$ 5.766	\$ 5.881	\$ 5.999	\$ 6.119	\$ 6.241	\$ 6.366	\$ 6.493	\$ 6.623
MÉXICO	\$ 120	\$ 122	\$ 125	\$ 127	\$ 130	\$ 132	\$ 135	\$ 138	\$ 141	\$ 143	\$ 146	\$ 149	\$ 152	\$ 155	\$ 158	\$ 162	\$ 165	\$ 168
Total	\$ 6.475	\$ 6.620	\$ 6.769	\$ 6.922	\$ 7.079	\$ 7.240	\$ 7.405	\$ 7.575	\$ 7.749	\$ 7.928	\$ 8.111	\$ 8.300	\$ 8.494	\$ 8.693	\$ 8.898	\$ 9.108	\$ 9.325	\$ 9.547
Utilidad	\$ (6.475)	\$ (6.620)	\$ (2.546)	\$ (3.741)	\$ 96.277	\$ 178.796	\$ 1.934.350	\$ 2.145.733	\$ 4.080.444	\$ 4.958.719	\$ 4.834.981	\$ 4.704.313	\$ 5.477.851	\$ 5.343.973	\$ 5.162.570	\$ 5.806.261	\$ 4.768.532	\$ 4.243.833

Tasa Descuento	17,5%
----------------	-------

VP	\$ 8.774.724,45
----	-----------------

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 3. Precio del Cobre

Commodity Price Forecast Update
Released: January 17, 2012

Table 1: Commodity Prices and Price Forecast in Current Dollars

Commodity	Unit	Actual					Forecast									
		1980	1990	2000	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2025
Energy																
Coal, Australian	\$/mt	40.1	39.7	26.3	99.0	120.9	120.0	115.0	100.0	90.0	91.0	92.0	93.0	94.0	95.0	100.0
Crude oil, avg. spot	\$/bbl	36.9	22.9	28.2	79.0	104.0	98.2	97.1	96.0	94.7	93.2	91.4	89.4	87.3	85.0	80.0
Natural gas, European	\$/mmbtu	4.2	2.8	3.9	8.3	10.5	10.8	10.3	10.0	9.8	9.5	9.3	9.0	8.8	8.5	8.8
Natural gas, US	\$/mmbtu	1.6	1.7	4.3	4.4	4.0	4.3	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	6.8	7.0	7.3	7.5
LNG, Japanese	\$/mmbtu	5.7	3.6	4.7	10.8	14.7	15.0	14.0	13.0	12.5	12.3	12.0	11.8	11.5	11.3	10.0
Non Energy Commodities																
Agriculture																
Beverages																
Cocoa	\$/kg	260	127	91	313	298	270	240	230	220	219	218	218	217	216	212
Coffee, Arabica	\$/kg	346.6	197.2	192.0	432.0	597.6	500.0	450.0	400.0	370.0	366.9	363.8	360.7	357.7	354.7	340.0
Coffee, robusta	\$/kg	324.3	118.2	91.3	173.6	240.8	200.0	170.0	165.0	160.0	159.0	157.9	156.9	155.9	154.9	150.0
Tea, auctions (3) ave	\$/kg	165.9	205.8	187.6	288.5	292.1	281.0	276.0	272.1	268.3	264.5	260.5	256.7	253.0	250.0	245.0
Food																
Fats and Oils																
Coconut oil	\$/mt	674	337	450	1,124	1,730	1,300	950	900	850	843	837	830	823	817	785
Groundnut oil	\$/mt	859	964	714	1,404	1,985	1,650	1,500	1,450	1,450	1,471	1,492	1,513	1,534	1,556	1,670
Palm oil	\$/mt	584	290	310	901	1,125	900	850	810	800	789	779	769	758	748	700
Soybean meal	\$/mt	262	200	189	378	398	380	370	360	355	354	354	353	353	352	350
Soybean oil	\$/mt	598	447	338	1,005	1,299	1,100	1,000	950	900	897	894	891	888	885	870
Soybeans	\$/mt	296	247	212	450	541	520	500	480	470	469	468	467	466	465	460
Grains																
Barley	\$/mt	78	80	77	158	207	167	155	153	150	150	149	149	149	148	147
Maize	\$/mt	125	109	89	186	292	260	230	220	210	209	209	208	208	208	205
Rice, Thai, 5%	\$/mt	411	271	202	489	543	500	490	480	470	466	462	458	454	450	430
Wheat, US, HRW	\$/mt	173	136	114	224	316	290	270	265	260	259	259	258	258	257	255
Other Food																
Bananas US	\$/mt	377	541	424	868	968	950	930	910	900	897	894	891	888	885	870
Meat, beef	\$/kg	276	256	193	335	404	390	370	360	305	309	313	317	321	325	350
Meat, chicken	\$/kg	76	108	131	189	193	194	196	201	201	202	202	202	203	203	215
Oranges	\$/mt	400	531	363	1,033	891	830	850	860	900	902	904	906	908	910	960
Shrimp	\$/kg	1,152	1,069	1,515	1,004	1,193	1,060	1,039	1,018	1,100	1,106	1,112	1,118	1,124	1,130	1,170
Sugar, world	\$/kg	63.2	27.7	18.0	46.9	57.3	48.0	45.0	40.0	38.0	37.7	37.4	37.1	36.8	36.5	35.0
Agricultural Raw Materials																
Timber																
Logs, Cameroonian	\$/cum	252	343	275	429	487	485	485	480	480	490	499	509	520	530	580
Logs, Malaysian	\$/cum	196	177	190	278	391	440	420	350	300	300	306	312	318	330	375
Sawnwood, Malaysian	\$/cum	396	533	595	848	939	1,000	1,000	1,000	900	915	929	944	960	975	1,080
Other Raw Materials																
Cotton A Index	\$/kg	206	182	130	228	333	230	228	225	220	218	216	214	212	210	200
Rubber, Malaysian	\$/kg	142	86	67	365	482	350	325	300	300	298	296	294	292	290	280
Tobacco	\$/mt	2,276	3,392	2,976	4,305	4,472	4,300	4,200	4,100	4,000	3,917	3,835	3,755	3,677	3,600	3,500
Fertilizers																
DAP	\$/mt	222	171	154	501	619	560	530	515	500	496	492	488	484	480	460
Phosphate rock	\$/mt	47	41	44	123	185	165	150	145	140	136	132	128	125	121	105
Potassium chloride	\$/mt	116	98	116	332	435	440	400	380	360	355	349	344	339	334	310
TSP	\$/mt	180	132	138	382	538	500	480	450	430	424	417	411	405	399	370
Urea	\$/mt	192	119	101	289	421	400	380	350	330	324	318	312	307	301	275
Metals and Minerals																
Aluminum	\$/mt	1,775	1,639	1,549	2,173	2,401	2,300	2,400	2,500	2,600	2,650	2,700	2,725	2,750	2,775	2,900
Copper	\$/mt	2,182	2,661	1,813	7,535	8,828	8,500	9,000	8,000	7,000	6,500	6,000	5,500	5,750	6,000	6,500
Gold	\$/oz	608	383	279	1,225	1,568	1,750	1,600	1,400	1,200	1,100	1,000	1,025	1,050	1,075	1,200
Iron ore	\$/dmt a/	28	32.5	28.8	145.9	167.8	150.0	135.0	120.0	110.0	100.0	90.0	85.0	80.0	75.0	70.0
Lead	\$/kg	91	81	45	215	240	225	245	255	245	235	225	215	210	205	190
Nickel	\$/mt	6,519	8,864	8,638	21,809	22,910	20,000	19,000	18,500	18,000	19,000	19,500	20,000	20,500	21,000	23,500
Silver	\$/oz	2,064	482	500	2,020	3,526	3,300	3,000	2,800	2,400	2,100	1,800	1,825	1,850	1,875	2,000
Tin	\$/kg	1,677	609	544	2,041	2,605	2,400	2,600	2,800	2,600	2,500	2,400	2,425	2,450	2,475	2,600
Zinc	\$/kg	76	151	113	216	219	210	235	250	240	230	220	210	215	220	245

a/ iron ore unit for years 1980 to 2005 is cents/dmt, thereafter is \$/dmt.

Source: World Bank, Development Prospects Group.

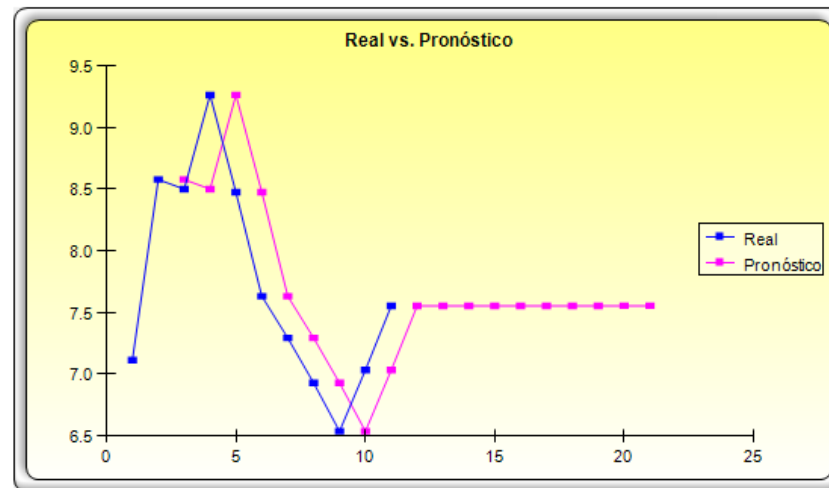
Next update: April 2012

Fuente: Informe de Grupo de Perspectivas de Desarrollo del Banco Mundial. http://siteresources.worldbank.org/INTPROSPECTS/Resources/334934-1304428586133/Price_Forecast.pdf

Anexo 4. Proyección precio del cobre.

Periodo	Real	Pronóstico Ajustado
1	7,11	
2	8,58	
3	8,50	8,58
4	9,26	8,50
5	8,47	9,26
6	7,63	8,47
7	7,29	7,63
8	6,93	7,29
9	6,54	6,93
10	7,03	6,54
11	7,55	7,03
Pronóstico12		7,55
Pronóstico13		7,55
Pronóstico14		7,55
Pronóstico15		7,55
Pronóstico16		7,55
Pronóstico17		7,55
Pronóstico18		7,55
Pronóstico19		7,55
Pronóstico20		7,55
Pronóstico21		7,55

Medidas de Error	
RMSE	0,5616
MSE	0,3154
MAD	0,5093
MAPE	6,59%
U de Theil	1,0001



Fuente: Resultado Risk Simulator 2011.